

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



**Soluções técnicas para sistemas de carga de
veículos eléctricos**

Diogo Filipe Moreira Tavares

Dissertação realizada no âmbito do
Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores
Major Energia

Orientador: Prof. Doutor Cláudio Domingos Martins Monteiro

Janeiro de 2009

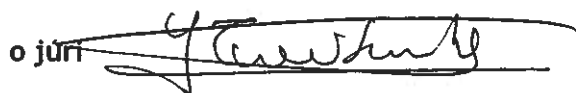
© Diogo Filipe Moreira Tavares, 2009

A Dissertação intitulada

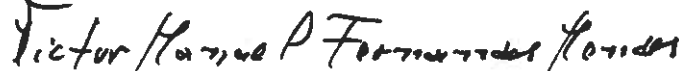
“SOLUÇÕES TÉCNICAS PARA SISTEMA DE CARGA DE VEÍCULOS ELÉCTRICOS”

foi aprovada em provas realizadas em 27/Fevereiro/2009

o júri



presidente Professor Doutor José Eduardo Roque Neves do Santos
professor auxiliar da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



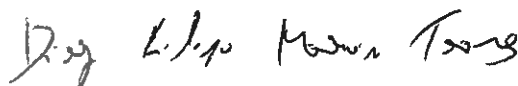
Professor Doutor Vítor Manuel Fernandes Mendes
professor coordenador c/ Agregação do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa



Professor Doutor Claudio Domingos Martins Monteiro
Professor auxiliar da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

O autor declara que a presente dissertação (ou relatório de projecto) é da sua exclusiva autoria e foi escrita sem qualquer apoio externo não explicitamente autorizado. Os resultados, ideias, parágrafos, ou outros extractos tomados de ou inspirados em trabalhos de outros autores, e demais referências bibliográficas usadas, são correctamente citados

Autor - Diogo Filipe Moreira Tavares



Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Resumo

As actuais perspectivas de desenvolvimento de um mercado de veículos eléctricos e o actual plano de desenvolvimento de uma plataforma que permita a integração destes veículos no parque automóvel nacional, exige medidas ao nível das infra-estruturas e soluções de carregamento bem como de outros serviços relacionados. Assim, é necessária a criação de um conjunto de infra-estruturas, que proporcionem o acesso ao carregamento das baterias. Todavia, actualmente ainda estão em curso vários estudos cujo objectivo é apresentar soluções técnicas a essa necessidade.

Esta dissertação pretende identificar soluções técnicas de carregamento para diferentes ambientes de utilização, propondo não só as soluções técnicas mas também a análise sistémica em que estes sistemas estão integrados. As soluções técnicas apuradas para a carga de veículos eléctricos e híbridos *plug-in* foram compactadas em cinco categorias. Uma consiste num carregamento por meio de uma tomada eléctrica monofásica ou trifásica. Outra forma será optar-se pelo carregamento controlado em corrente contínua e a terceira com as mesmas características que esta mas em corrente alternada. Uma técnica ainda possível consiste na conexão do carregador directamente nos terminais da bateria ou então, por último pode ainda optar-se pela troca de baterias.

A exigência da ligação dos veículos à rede para carregarem levantou a hipótese de utilizar os mesmos como unidades de injeção de energia. Essa temática popularizou-se com a designação *vehicle to grid*. Contudo, ainda não existe legislação que contemple os aspectos técnicos da ligação à rede. Então, tendo em conta aspectos técnicos relacionados com a micro-geração e com os sistemas de carga, apresenta-se uma proposta para o método da referida ligação.

A fim de compreender todos os aspectos e equipamentos necessários, elaborou-se uma especificação de uma estação de carregamento universal. Aqui contemplam-se todos os métodos de carga enunciados e o *vehicle to grid*. Com o objectivo de tornar a estação num sistema energeticamente eficiente, a solução proposta é dotada de um sistema de monitorização inteligente. Este consiste em monitorizar a instalação eléctrica, onde a estação está acoplada, para optimizar o uso da potência disponível e os custos de exploração.

Para ligação de um sistema com as características enunciadas à rede, apresenta-se uma solução de contagem inteligente. Assim, inclui-se a vantagem da automatização do plano tarifário e possibilita-se a desagregação de consumos.

Palavras-chave:

Carregamento; *Vehicle to grid*; Contagem inteligente; Veículo eléctrico; Híbrido *plug-in*;

Abstract

The current prospects for electric vehicles market development and the current plan to build up a platform that enables the national vehicle fleet integration, requires actions at the level of infrastructure, charging solutions and other related services. Therefore, it is necessary to create a set of infrastructures which provide the battery charging. However, many companies are still working to provide technical solutions to this need.

This dissertation aims to identify technical solutions for different charging environments, offering not only technical solutions but also a systemic analysis of integration. The charging solutions found for electric vehicles and plug-in hybrids were compressed into five categories. A common charging solution is a single phase or three-phase electrical outlet connection. Though, there are situations where it exists a charging controlled system, that might be in direct or alternating current. The charging system can also be applied directly to battery terminals or there is always the possibility to exchange batteries.

The requirement to grid connection to proceed with the charging method raised the issue of using the vehicles as energy injection units. This idea was commonly named vehicle to grid. However, there is no legislation that contemplates the technical requirements to assure the vehicle to grid connection. Then, taking into account the technical aspects related to micro-generation and charging requirements, it is presented a proposal for the technical connection.

In order to systematize all the required aspects and equipments, it was developed a specification of a universal loading station. Here are included all the listed charging methods and vehicle to grid. With the aim to prepare an energy efficient system, the proposed solution comes with a smart monitoring system. It verifies the consumptions of the installation where the charging station is attached, to optimize the use of power available and operating costs.

In order to provide an automatic tariff rates plan and an independent consumption system, it also is proposed a smart solution for energy counting.

Keywords:

Charging system; Vehicle to Grid; Smart Metering; electric vehicle; Plug-in hybrid vehicle;

Agradecimentos

Em primeiro lugar gostaria de agradecer ao meu orientador Professor Doutor Cláudio Domingos Monteiro por todo o apoio, ajuda e orientação ao longo destes últimos tempos.

Agradeço ao Eng.º Rui Azevedo pelo tempo dispendido e toda a disponibilidade que me proporcionou ao longo desta dissertação.

Quero também agradecer aos meus pais e irmã por todo apoio e estabilidade não só durante esta dissertação, mas também durante todo o percurso académico.

Agradeço à Bárbara Monteiro por me acompanhar, apoiar e ajudar ao longo de todos os momentos desta dissertação e percurso académico.

Por fim, agradeço aos meus companheiros e amigos da sala J204 que tanto me apoiaram, em todas as vertentes, para conseguir vencer todos os enormes obstáculos que surgiram ao longo destes meses.

Índice

Resumo	iii
Abstract.....	v
Agradecimentos	vii
Índice.....	ix
Lista de figuras	xi
Lista de tabelas	xiii
Abreviaturas e Símbolos	xiv
Capítulo 1	1
Introdução.....	1
1.1. Enquadramento e motivação	1
1.2. Objectivos.....	2
1.3. Estrutura	2
Capítulo 2	5
Estado da Arte.....	5
2.1. Veículos de propulsão eléctrica.....	5
2.2. Tipos de baterias	5
2.2.1. Baterias <i>Lead Acid</i>	6
2.2.2. Baterias de Níquel	7
2.2.3. Baterias de Lítio	8
2.2.4. Baterias Zebra	9
2.3. Tecnologias de carregamento	9
2.3.1. Carregadores internos.....	9
2.3.1.1. Conexão condutiva	10
2.3.1.2. Conexão indutiva	10
2.3.2. Carregadores externos	11
2.3.2.1. Estações de carregamento	12
2.3.2.2. Estações de “troca de baterias”	12
2.3.2.3. Estações de carga “dedicada”	13
2.3.2.4. Postos de carga urbanos.....	14
2.4. Técnicas de carga de baterias.....	15
2.4.1. Corrente constante	16
2.4.2. Tensão constante.....	16
2.4.3. Corrente constante -Tensão constante.....	17

2.4.4. Impulsos de corrente	18
2.4.5. <i>Reflex charging</i>	18
2.4.6. Corrente constante - <i>Multi-step</i>	19
2.5. Sistema de controlo e monitorização de baterias	19
2.5.1. Determinação do estado de carga - SOC	20
2.5.1.1. Relação com a tensão em circuito aberto	20
2.5.1.2. <i>Coulometric method</i>	21
2.5.1.3. Relação com parâmetros impedantes	22
2.5.1.4. Outros métodos	23
2.5.2. Determinação do estado de "saúde" - SOH	24
2.5.3. Equalização de carga	24
2.5.1. Controlo térmico	25
2.5.2. Baterias "inteligentes"	25
2.6. <i>Vehicle to grid</i> - V2G	26
Capítulo 3	29
Especificações Técnicas	29
3.1. Definição da topologia geral	29
3.1.1. Interface com o utilizador	30
3.1.2. Contagem de energia	31
3.1.3. Monitorização da rede	32
3.1.3.1. Conceito de Protecção Inteligente - PI	33
3.1.3.2. Método de funcionamento	35
3.1.4. Sistema de carregamento	37
3.1.4.1. Tomada eléctrica	39
3.1.4.2. Fornecimento controlado em corrente alternada (AC)	43
3.1.4.3. Fornecimento controlado em corrente contínua (DC)	45
3.1.4.4. Bateria	45
3.1.4.5. Troca de baterias	49
3.1.5. <i>Vehicle to grid</i> - Ligação à rede	50
3.2. Normas e requisitos	53
Capítulo 4	55
Casos Práticos	55
4.1. Edifício residencial	55
4.2. Edifício de habitação colectiva	58
4.3. Parques de estacionamento	61
4.4. Empresas de serviços	63
4.5. Estações de serviço	65
4.6. Unidades industriais	66
Capítulo 5	69
Conclusões e Trabalhos Futuros	69
Anexos	71
Anexo A - Tabela de veículos de propulsão eléctrica	72
Continuação da Tabela de veículos de propulsão eléctrica	73
Anexo B - Legenda dos diagramas de blocos	74
Referências	75

Lista de figuras

Figura 2.1 - Exemplo de uma aplicação de carregamento indutivo [31].	11
Figura 2.2 - Exemplo de um sistema automatizado de troca de baterias [40].	13
Figura 2.3 - Exemplo de uma curva de aceitação de carga de uma bateria, baseada em [43].	14
Figura 2.4 - Método Corrente constante - Tensão constante, baseado em [49].	17
Figura 2.5 - Método de Impulsos de carga e <i>Reflex charging</i> , baseado em [49].	18
Figura 2.6 - Relação típica da SOCV em função do SOC para baterias de <i>Lead Acid</i> e de <i>Lithium-Ion</i> [7].	21
Figura 2.7 - Relação típica da SOCV em função do SOC para baterias de NiMH [7].	21
Figura 2.8 - Esquema de implementação do vehicle to grid [76].	28
Figura 3.1 - Modulação geral de uma estação de carregamento.	29
Figura 3.2 - Estrutura do início do processo de interacção utilizador-estação.	30
Figura 3.3 - Unidade de monitorização da rede.	32
Figura 3.4 - Modelo de constituição de uma Protecção Inteligente.	34
Figura 3.5 - Método de funcionamento do sistema de monitorização.	35
Figura 3.6 - Estrutura do módulo Sistema de carregamento.	38
Figura 3.7 - Estrutura do processo Tomada eléctrica.	40
Figura 3.8 - Opção funcional para o processo Tomada.	42
Figura 3.9 - Estrutura do processo Fornecimento controlado em AC.	44
Figura 3.10 - Estrutura do processo Bateria.	46
Figura 3.11 - Estrutura do processo Troca de baterias.	49
Figura 3.12 - Estratégia de carregamento da bateria reposta na estação de carga.	50
Figura 3.13 - Esquema de geral de ligação à rede.	52

Figura 4.1 - Esquema de ligações para um edifício residencial.	56
Figura 4.2 - Exemplo de um quadro de habitação com protecções inteligentes.	57
Figura 4.3 - Esquema de ligações para um edifício de habitação colectiva.....	60
Figura 4.4 - Esquema de ligações para um parque de estacionamento.	62
Figura 4.5 - Esquema de ligações para empresas de serviços.....	64
Figura 4.6 - Pormenor do Quadro de Terminais numa estação de serviço.....	66

Lista de tabelas

Tabela A.1 - Recolha de informação de VE e PHEV.....	72
--	----

Abreviaturas e Símbolos

Lista de abreviaturas

AC	<i>Alternated Current</i> (Corrente Alternada)
BMS	<i>Battery Management System</i>
BT	Baixa Tensão
DC	<i>Direct Current</i> (Corrente Contínua)
OCV	<i>Open Circuit Voltage</i> (Tensão de Circuito Aberto)
PHEV	<i>Plug-in Hybrid Electric Vehicle</i>
PI	Protecção Inteligente
SOC	<i>State Of Charge</i> (Estado de Carga)
SOCV	<i>Stabilized Open Circuit Voltage</i>
SOH	<i>State Of Health</i> (Estado de “saúde”)
RESP	Rede Energética de Serviço Público
VE	Veículos Eléctricos
V2G	<i>Vehicle to Grid</i>

Capítulo 1

Introdução

1.1. Enquadramento e motivação

Actualmente, vive-se num ambiente de procura da diminuição dos índices de poluição mundial. Sendo os transportes uma das principais fontes de poluição atmosférica, surgiu a aposta em veículos “mais limpos”.

Para enfrentar a diminuição da emissão dos gases de estufa, no sector dos transportes, o Governo Português anunciou uma parceria com a aliança *Renault-Nissan*. Este acordo de 2008 visa a promoção da mobilidade com zero emissões no País, já em 2011 [1]. Uma das principais ordens de trabalho consiste em estudar as infra-estruturas e organizações necessárias para criar uma ampla rede de estações de carga para os veículos eléctricos, a nível nacional [1]. Portanto, as perspectivas de desenvolvimento de um mercado de veículos eléctricos e o actual plano de desenvolvimento de uma plataforma que permita a integração destes veículos no parque automóvel nacional, exige medidas ao nível das infra-estruturas e soluções de carregamento bem como de outros serviços relacionados.

Empresas como a *General Motors Europe* e a *Iberdrola* anunciaram que vão desenvolver um estudo sobre os requisitos técnicos necessários para a criação de uma infra-estrutura de recarregamento de baterias de veículos eléctricos [2]. Estas afirmam que o principal foco do seu estudo incidirá sobre a forma como se poderá encontrar a melhor solução para uma operação fácil e segura de recarregamento de baterias, tendo em conta os seus requisitos em vários cenários possíveis.

A popularização dos veículos *plug-in* levou a que cada vez mais surja a ideia de colocar o veículo a fornecer energia eléctrica à rede de serviço público. Esta ideia foi sistematizada mundialmente pela designação de *vehicle to grid*. Contudo, ao contrário da micro-produção, não surgiu qualquer legislação que aborde o método de ligação eléctrica do veículo à rede. Logo, será necessário investigar quais os requisitos técnicos e propor soluções de acordo com as situações possíveis.

Todos os processos de investigação não podem deixar ao acaso o facto de, em Portugal, se estar a introduzir a implementação de redes inteligentes. Já em Outubro de 2008, arrancou o projecto-piloto de levar a vários clientes a tecnologia de contadores inteligentes [3].

1.2. Objectivos

O principal objectivo desta dissertação consiste em identificar as soluções que existem ou podem surgir para carregar veículos eléctricos. Todavia, numa fase inicial, convém investigar os tipos de baterias que se pretendem carregar e analisar todos os conceitos e requisitos inerentes. Em seguida, pode iniciar-se a pesquisa de todos os métodos e compreender a implementação dos conceitos adquiridos.

Após cumprida a tarefa anterior, o objectivo será proceder à especificação do caso geral de uma estação de carregamento. Tendo em conta a possibilidade de existirem redes inteligentes, na especificação anterior adiciona-se a finalidade de especificar um modelo técnico de interligação com a rede. Todavia, deve ainda ser prevista a possível existência da ligação do veículo à rede eléctrica de serviço público, como fornecedor de energia. Portanto, aqui devem identificar-se todos os módulos necessários e respectiva função, constituição e interligação.

Os VE representam cargas com características específicas, tendo algumas vantagens de flexibilidade como seja a controlabilidade de intensidade de carga permitindo a integração de inteligência de controlo da carga, ou a flexibilidade da carga quanto à gestão temporal podendo ser diferível para períodos em que a energia é mais barata. Por outro lado a mobilidade da carga obriga a uma adaptação do dimensionamento da instalação. Estes aspectos levam a que seja necessária a implementação de algoritmos inteligentes que façam uma gestão integrada dos consumos da habitação com os consumos dos veículos eléctricos podendo estes funcionar como um armazenamento de energia. Nesta tese serão sugeridos alguns algoritmos deste tipo bem como algoritmos de gestão capacidade da instalação.

Será necessário definir soluções de carga adaptadas a diferentes ambientes de utilização tendo em conta as características do local de carga, tipos de veículos eléctricos, diferentes requisitos dos utilizadores e determinadas exigências requeridas pelos equipamentos.

1.3. Estrutura

Esta dissertação encontra-se dividida em cinco capítulos distintos. O primeiro destes é a introdução onde se começa por justificar o interesse por este tema, assim como o seu enquadramento na situação actual. Em seguida, apresentam-se os objectivos e a descrição da estrutura da tese.

No segundo capítulo apresenta-se o estado da arte. Na primeira parte apresenta-se a descrição de uma pesquisa efectuada acerca de veículos de propulsão eléctrica, com possibilidade de ligação à rede. Em seguida são distinguidos os tipos de baterias mais utilizadas nos referidos veículos, os tipos de unidades utilizadas para as carregarem, as técnicas implícitas e respectivos meios de controlo. Por fim é ainda abordada as aplicações e outros aspectos da temática do *vehicle to grid*.

Tendo em conta todos os aspectos descritos no capítulo anterior, no terceiro capítulo é apresentado um conjunto de especificações técnicas. No geral é apresentada uma solução para uma estação de carregamento universal, onde se aplicam todos os aspectos técnicos possíveis. Esses aspectos vão até a aplicação de todos os métodos de carga, um sistema de monitorização da rede ou instalação envolvente e a implementação do V2G.

No quarto capítulo apresenta-se e descreve-se a implementação prática da ideia detalhada no terceiro dos vários cenários possíveis. Aqui são incluídos os esquemas de ligações eléctricas em todos os casos relevantes. Este capítulo está estruturado de um modo sequencial. Após a explicação do primeiro caso, os restantes são explicados com base nas diferenças face aos anteriores.

No quinto capítulo são apresentados os aspectos conclusivos e algumas sugestões para trabalhos futuros.

Ainda foram criados anexos, onde foi colocada toda a informação recolhida acerca dos VE e PHEV e outra informação adicional.

Capítulo 2

Estado da Arte

2.1. Veículos de propulsão eléctrica

Antes de se pensar em tecnologias de carregamento de baterias, convém pesquisar quais os veículos que existem ou podem vir a surgir. Tendo em conta os objectivos propostos, a pesquisa deve direccionou-se, essencialmente, para a identificação das tecnologias de veículos existentes, tipos de baterias, tipos de carregamentos, respectivos tempos estimados de carga, eficiência no recarregamento e características eléctricas de carregadores e baterias.

A pesquisa efectuada encontra-se organizada na tabela A.1, apresentada em anexo. Analisando esta tabela pode apurar-se que existem muitas células por preencher. Este facto revela a dificuldade em encontrar informações pormenorizadas de todos os VE e PHEV. Apesar de algumas buscas intensas e contactos com alguns dos fabricantes, não foi possível completar mais o quadro informativo, o que coloca alguns entraves na apresentação destes resultados.

Os veículos pesquisados foram pesquisados internacionalmente, portanto ao analisar-se a tabela A.1 pode verificar-se que existem valores de tensões referentes às tensões adoptadas noutros países. Logo não se podem conectar directamente numa tomada nacional.

No âmbito desta dissertação, a palavra “veículo” refere-se globalmente a VE e PHEV.

2.2. Tipos de baterias

As baterias utilizadas em todos os tipos de veículos podem-se englobar os tipos existentes em duas grandes categorias: as baterias de arranque, Baterias SLI - *Starting Lighting Ignition*, e as baterias de *deep-cycle*.

As baterias de arranque são vocacionadas essencialmente para alimentar o sistema de ignição dos veículos motorizados, assim como outros sistemas de luzes, entre outros [4]. O modelo de construção destas baterias faz com que não permitam grandes taxas de descarga durante um tempo prolongado, o que implica que apenas sejam usadas em aplicações que exijam altas correntes num curto intervalo de tempo [4]. A alimentação contínua a

determinados sistemas é possível devido à constante recarga recebida pelos motores, durante o seu funcionamento [5].

Quando se refere a VE ou PHEV, o grupo de baterias anterior não será adequado por apresentarem baixa capacidade de carga e descarga [4] e por oferecerem um reduzido número de ciclos de vida [5]. A alimentação destes veículos exige a utilização de baterias de *deep-cycle*. Estas caracterizam-se, principalmente, pela resistência a centenas de ciclos de carga e permitirem descargas profundas [5]. Porém, as baterias de “ciclo profundo”, utilizadas em veículos de propulsão eléctrica, incluem-se ainda numa subcategoria designando-se especificamente por “baterias de tracção” [6]. Esta subcategoria traduz-se nos aspectos construtivos que estão essencialmente vocacionados para o uso em veículos eléctricos, isto porque, apesar de possuírem capacidade de armazenamento de energia, estão preparadas para a fornecerem continuamente durante um maior período de tempo. Assim, o veículo alimentado por uma bateria de tracção consegue deslocar-se vários quilómetros sem necessidade de recarregar, tendo também boa capacidade de aceleração, graças ao fornecimento de altas densidades de energia, por parte das referidas baterias [6].

Com o auxílio da tabela A.1, reconhece-se que actualmente as de baterias de tracção mais utilizadas são as de *Lead Acid*, níquel, lítio e as Zebra. Em relação às de níquel as mais utilizadas são as NiMH e as Nicd. Contudo, existem artigos que apenas referem como baterias mais utilizadas, as de *Lead Acid*, *Lithium-Ion* e NiMh [7 e 8].

Existem outros tipos de baterias menos difundidos e menos utilizados, como exemplo podem referir-se outras topologias baseadas em níquel como as NiFe, baterias de Zinco-Halogéneo (ZnBr) ou outras baterias de elevada temperatura como as NaS [9]. Estas não serão consideradas para este estudo, pois não são amplamente utilizadas.

Embora resumidamente, nas secções seguintes salientam-se alguns aspectos das baterias mais utilizadas na alimentação de veículos movidos a electricidade.

2.2.1. Baterias *Lead Acid*

A designação destas baterias deve-se à sua constituição, pois possuem o electrólito de ácido sulfúrico e os eléctrodos constituídos essencialmente por chumbo [10]. Contudo, é de sublinhar que estas baterias são baterias de tracção, tendo constituição bastante diferente das *Lead Acid* usadas em aplicações de arranque.

As primeiras baterias *Lead Acid* de tracção que surgiram foram uma variante das típicas baterias líquidas, que exigem a constante vigilância do sistema em termos do nível de água destilada [10]. Apesar de ser uma topologia antiga, hoje em dia ainda se encontram veículos com estas baterias.

Como existia a preocupação de desenvolver uma topologia que não necessita-se de manutenção e constitua uma alternativa mais segura surgiram então as baterias VRLA - *Valve Regulated Lead Acid* [10]. Estas baterias possuem um *design* semelhante à topologia anterior, com a grande diferença de serem seladas [10]. Construtivamente, as VRLA têm a vantagem de possuírem uma válvula (de saída), o que permite a bateria libertar gases de sobrecarga (oxigénio e hidrogénio) de modo a evitar o aumento da pressão interna [11], que se manifestaria em fenómenos de corrosão danificando determinados componentes da bateria.

Todavia esses gases de sobrecarga não são presença comum, pelo que a libertação de gases pela referida válvula é pouco frequente e não é nociva ao meio envolvente [12].

Comercialmente existem duas variantes de baterias VRLA, uma possui o electrólito absorvido em manta de fibra de vidro (AGM - *absorbet glass mat*) e a outra possui o electrólito disposto numa tecnologia em gel [13]. A tecnologia em gel possui maior resistência interna, devido à natureza resistiva da sílica presente nas mesmas [11]. Estas têm desvantagem de menor eficiência do que as AGM, que é compensada pela capacidade de suportarem bastantes mais ciclos de carga [13]. Este facto leva a que existam vários estudos, cujo objectivo é diminuir a resistência interna do "gel", sem prejudicar o número de ciclos de carga que aguenta [14].

A instalação das baterias AGM pode ser próxima de componentes sensíveis, não representando nenhum tipo de perigo [14]. O facto de não ser necessário o acesso do utilizador directamente às baterias associado ao baixo preço destas e à grande capacidade de carga levaram à utilização deste tipo de baterias em veículos eléctricos.

Todavia, as baterias de *Lead Acid* apresentam um fenómeno designado por efeito de "memória" [15]. Este fenómeno resulta da formação de cristais nos eléctrodos que, geralmente, têm origem em frequentes descargas parciais [15]. Na prática, este aspecto tem a consequência de tornar inacessível determinada percentagem da bateria, já que a bateria parece "lembrar-se" que frequentemente apenas carrega a respectiva percentagem de capacidade que costuma recarregar [13].

2.2.2. Baterias de Níquel

Apesar de existirem várias variantes de baterias de níquel, no âmbito dos veículos eléctricos é frequente encontrar baterias de *Nickel-Cadmium* (NiCd) e de *Nickel-Metal Hydride* - NiMH.

As NiCd foram dominadoras do mercado durante muito tempo. Por exemplo, foram utilizadas com sucesso nas versões eléctricas dos modelos Peugeot 106, Citroen AX, Renault Clio. No entanto, estas baterias para além de terem um elevado ciclo de vida, são uma alternativa nociva para o ambiente devido à presença do *Cadmium* [16]. Este facto levou ao desenvolvimento das baterias de NiMH que têm a enorme vantagem de utilizar o hidrogénio em vez do *Cadmium*, têm 30-40% superior capacidade de carga, mas têm um custo mais elevado e uma pior performance no que diz respeito à auto-descarga [16]. Os índices de poluição inerentes às NiCd levam a que muitos países restrinjam o seu uso, o que faz com que se aposte mais no desenvolvimento e utilização das NiMH [16].

As baterias de níquel "preferem" regimes de carga rápida, já que a carga lenta provoca a formação de cristais que causam o "efeito de memória", característico destas baterias e das *Lead Acid* [18]. As NiCd são bastante mais sujeitas a este fenómeno que as NiMH. Em utilizações diárias, para evitar o fenómeno anterior, as NiCad devem ser totalmente descarregadas de mês a mês, enquanto as NiMH em cerca de três em três meses [17].

Tendo em conta os dados que podem advir de sobrecargas, é importante determinar com fiabilidade as condições que levem a terminar um regime de carregamento. Estas baterias possuem a particularidade de registarem alterações nos declives dos valores de temperatura

(dT/dt) e tensão ($-dV/dt$) no tempo, quando atingem o nível de carga completa [19]. Ou sistema terá que estar preparado para detectar o ponto onde se regista um determinado aumento da temperatura associado a uma diminuição da tensão e, por segurança, também aliado a um temporizador que assegure a fiabilidade das detecções.

2.2.3. Baterias de Lítio

As baterias de lítio são essencialmente destacadas por oferecem uma elevada densidade de energia, baixa resistência interna em comparação com os outros tipos de baterias anteriormente apresentados, sendo também maior o seu custo [16].

Estas baterias possuem a grande vantagem de não apresentarem sinais do já referido “efeito de memória”. Outro benefício é o facto de possuir, em média, um ciclo de vida bastante superior às anteriores [16]. Estes factos aliados ao facto destas não constituírem uma ameaça ao ambiente [16], leva a que cada vez mais esta solução seja bastante atractiva para novos desenvolvimentos e para a utilização em veículos eléctricos de forma a tender para a diminuição do seu elevado preço.

À medida que vão sendo usadas, as baterias encontram-se num processo de “envelhecimento” que se traduz em suaves perdas irreversíveis de capacidade devido às reacções químicas entre o electrólito e os componentes activos [20]. É de salientar que estes processos ocorrem mais rapidamente e em maior magnitude com o aumento da temperatura e da tensão [20].

Para se adoptarem sistemas de carga para estas baterias é necessário ter em consideração que exigem um controlo preciso da tensão. Se a tensão estiver muito elevada a bateria pode ser danificada, no entanto se estiver abaixo de um determinado valor a bateria não será suficientemente carregada [21]. Assumindo uma taxa de corrente (C) inicial suficientemente elevada para permitir uma carga rápida e eficaz, mas que não deteriore a bateria, o processo de carga referido constitui uma boa solução. Relativamente a essa taxa de corrente a utilizar, assim como o valor de tensão limite, devem ser escolhidos com base nos valores do fabricante.

A eficácia ou aceitação de carga corresponde à razão entre a capacidade disponível para ser descarregada e a capacidade que efectivamente existia, caso no processo de carga não existissem perdas. Estudos demonstram que a eficácia de carga nas baterias de lítio é similar em todas as taxas de corrente. Por exemplo, para baterias de *Lithium-Ion* a eficácia é de cerca de 93% [22]. Associado ao método de carga, deverá existir um circuito de monitorização da temperatura, que impeça esta grandeza de ultrapassar um determinado limite e/ou um dado declive de evolução.

Nos veículos eléctricos existentes, como representado na tabela A.1, é frequente encontrar baterias de *Lithium-Ion* e *Lithium Polymer*. No entanto, as topologias de *Lithium-Ion* são mais usadas devido ao facto de, no eléctrodo negativo das *Lithium Polymer*, existirem dificuldades relativas à segurança e, por vezes, este provocar decréscimo na performance das mesmas [16]. Por outro lado, as baterias *Lithium Polymer* têm o benefício de admitirem uma maior gama de temperaturas de funcionamento.

Recentemente, surgiram baterias deste tipo químico, onde se aplicam princípios de nano-tecnologia. A empresa *Altair Nanotechnologies* desenvolveu a bateria *Nano-Lithium Titanate (nLTO)* [21]. Esta bateria constitui uma alternativa três vezes mais eficiente e podem resistir a mais ciclos de carga/descarga do que as baterias tradicionais. Estas apresentam ainda a importante vantagem de poderem ser carregadas em menos de dez minutos, com elevadas magnitudes de correntes de carga [21].

2.2.4. Baterias Zebra

As baterias de *Sodium-Nickel Chloride* são vulgarmente conhecidas por Zebra. Esta tecnologia surgiu recentemente no mercado e caracteriza-se pela capacidade de utilização a elevadas temperaturas.

Sendo esta uma bateria de elevada capacidade e elevado tempo de vida, constitui uma importante vantagem, nomeadamente, para VE ou PHEV destinados a ambientes ou condições de carga/descarga a altas temperaturas [24].

O facto de estas exigirem altas temperaturas pode limitar a utilização deste tipo de baterias. Pois, nem todos os sistemas permitem atingir as temperaturas de operação necessárias. Porém, existem estudos que demonstram a adequabilidade destas para serem utilizadas em todos os veículos eléctricos destinados ao circuito urbano [23].

Uma das desvantagens inerente a estas baterias é o facto de ser necessário um período longo de aquecimento, cerca de 24 horas, caso se deixe que as baterias arrefeçam totalmente [16]. Portanto, antes de se iniciar um carregamento ou descarregamento é necessário garantir que a bateria se encontra com uma temperatura interna propensa a esse fim.

2.3. Tecnologias de carregamento

Nesta secção apresenta-se uma descrição da tecnologia envolvida no sistema de carregamento de baterias, utilizadas para a alimentação de veículos de propulsão eléctrica, utilizando a energia da rede eléctrica.

Quanto à localização, as tecnologias de carregamento podem ser agrupadas em carregadores internos e externos. Nas secções seguintes são apresentadas essas tecnologias e os patamares que os constituem.

2.3.1. Carregadores internos

Um carregador de baterias interno, tal como o nome sugere, situa-se no interior de um VE, sendo acessível do exterior para conexão a uma fonte de alimentação.

A principal função deste dispositivo, é fornecer energia eléctrica à bateria de modo a recarrega-la. Como a energia proveniente da rede vem em AC, o carregador tem a função de rectificação, ou seja, efectuar a conversão AC/DC.

Contudo, a função do carregador não se limita à rectificação, pois é preciso adequar a tensão e a corrente conforme o exigido pela bateria. Ao nível da tensão saída DC, como um carregador interno é dimensionado para um único tipo de bateria, este terá que estar regulado para a tensão da mesma [25]. Em relação à corrente, deve existir um circuito limitador de potência [25]. No caso de um veículo possuir um sistema padrão, esse circuito deve estar preparado para actuar da mesma forma, assumindo sempre os mesmos valores de potência e corrente ao longo do tempo. Todavia também deverão existir protecções que garantam a segurança da bateria [25]. Para o caso de o veículo possuir um *Battery Management System* (BMS), o carregador interno deve ser controlável por este sistema, pois o BMS executa todos os processos de carga e protecção de uma forma contínua e mais rigorosa, como se explica em 2.5.

Em termos de modos de conexão ao veículo, existem essencialmente duas abordagens diferentes, o modo condutivo e o indutivo.

2.3.1.1. Conexão condutiva

O modo condutivo de conexão do veículo resume-se ao convencional contacto directo entre a fonte exterior ao veículo e o próprio veículo, onde se situa o carregador. Este método assemelha-se ao modo de conexão a uma tomada eléctrica [26].

Tomando em atenção normas de segurança de revestimento de materiais, protecções contra curto-circuitos e, em especial, as protecções de pessoas, este modo constitui uma alternativa eficiente e segura. Devido à simplicidade de todo o sistema, esta tem ainda a importante vantagem de ser de fácil e de baixo custo de implementação [27] e [28].

2.3.1.2. Conexão indutiva

Os carregadores indutivos caracterizam-se por fornecerem energia ao VE através de um campo electromagnético, sem conexão directa [29]. Tipicamente, o princípio de conexão indutiva resume-se à existência de um lado primário e um secundário, correspondendo a um transformador [29].

O lado primário consiste no terminal que liga à fonte de alimentação, enquanto o secundário corresponde ao terminal de entrada no veículo [30]. Por sua vez, o terminal do secundário está ligado ao carregador interno do veículo, fornecendo-lhe assim a energia necessária ao carregamento da bateria [30].

Não existindo contacto eléctrico directo entre o carregador e a porta de carregamento do veículo, os terminais do carregador e da porta de carregamento devem estar revestidos [13]. Este facto traduz-se na vantagem de se evitar o perigo de electrocussão ou outra perturbação quando em contacto com a água ou determinadas substâncias, tornando o equipamento seguro para se utilizar em diversos ambientes [13].

Este tipo de sistemas podem ter aplicações interessantes, já que permitem efectuar um carregamento num processo totalmente automatizado. Por exemplo, um sistema que existe, hoje em dia, baseia-se num local de estacionamento, onde o carregamento se inicia automaticamente, sem a necessidade de manusear cabos ou outros equipamentos [31].

Outra metodologia bastante interessante corresponde ao uso de uma espécie de carris que vão permitir carregar o veículo por indução. Desta forma, o veículo não necessita de estar imobilizado durante o carregamento, tornando-se numa ferramenta útil em determinadas actividades industriais [32].

Para o utilizador comum, um sistema de carga indutivo não traz muitas vantagens, face ao sistema convencional. A transferência de corrente tem que ser feita a altas frequências, facto que obriga à existência de um conversor de frequência, pois a potência disponível no sistema de alimentação apenas estará a uma pequena frequência (50hz, no caso de Portugal) [33]. Não entrando em detalhe, este último facto revela a necessidade de uma maior complexidade em electrónica de potência, que se traduz também num aumento considerável dos custos. O elevado preço é a razão principal de, actualmente, esta hipótese não ser apreciada, levando ao seu abandono.

Concluindo, como este mercado está em ascensão, as soluções procuradas devem ser igualmente eficazes e seguras, mas com preços mais atractivos. Daí se aplicar frequentemente o sistema de conexão condutivo [28] e [34]. Porém, em aplicações industriais, o sistema indutivo pode ser boa solução. O facto de este sistema poupar em manuseamento, podendo permitir ganhos de produtividade. Caso estes ganhos tragam a rentabilidade desejada, face ao elevado custo inicial, tem-se então uma boa solução de investimento. Na Figura 2.1 apresenta-se um exemplo de um sistema indutivo para carregar um autocarro. Assim existe a vantagem de o condutor apenas necessitar de imobilizar o veículo no local indicado e aguardar o carregamento, enquanto se pode encarregar de outras actividades.



Figura 2.1 - Exemplo de uma aplicação de carregamento indutivo [31].

2.3.2. Carregadores externos

Os carregadores externos, tal como o nome sugere, consistem em carregadores que se situam no exterior no veículo. Ou seja, são equipamentos que rectificam a corrente alternada proveniente da rede eléctrica. Convém salientar ainda que estes têm também a função de adequar a gama de tensão e corrente de saída, dependendo da bateria a que se destina.

Dentro desta categoria, genericamente, existem estações de carga destinadas ao carregamento da bateria no veículo. Outra alternativa que se pode encontrar será as estações de troca de baterias.

2.3.2.1. Estações de carregamento

Neste ponto, convém analisar sumariamente algumas configurações de estações de carga, de forma a compreender as funcionalidades que as constituem.

Uma estação de carga, com funcionalidades importantes, encontra-se patenteada nos Estados Unidos sob o número 5548200 [35]. Aqui é apresentado um método e constituição de uma estação de carregamento de veículos eléctricos. Desta destaca-se o facto de a estação prever a existência de dois modelos possíveis, um é caracterizado como automático e o outro como manual. O modelo automático pressupõe a existência de um BMS ou outra unidade de menor complexidade no interior do veículo, que permita fornecer ao sistema de carga todas as informações necessárias. O sistema manual pressupõe a existência de um cartão de identificação ou a inserção directa, pelo operador, dos dados necessários ao processo de carga.

Outra estação de carga a analisar encontra-se patenteada sob o número 5202617 [36]. Esta permite concluir que existem também estações de carregamento, onde para além de outros métodos já referidos, aplicam uma alternativa de carga rápida. Esta alternativa consiste na aplicação de um algoritmo de carga, previamente estudado para determinado modelo de bateria. Este tipo de método é comandado por uma unidade de controlo da estação que implementa esse algoritmo, alimentando directamente a bateria, em corrente contínua.

2.3.2.2. Estações de “troca de baterias”

Uma das soluções previstas para futuro passa pela existência de estações de troca de baterias. O funcionamento destas consiste, genericamente, em retirar a bateria descarregada do veículo e coloca-la num local específico, onde seja possível a recarga da mesma. Assim, estando o compartimento da bateria do veículo vazio, procede-se à colocação de uma bateria carregada no respectivo lugar.

Existem estações que executam todo este processo de uma forma automatizada. Modelos práticos deste processo podem ser analisados nas patentes 4334819 [37] e 5549443 [38]. Como o governo português possui um acordo com a *Nissan-Renault*, que por sua vez integram um projecto designado por *Better Place*, é possível que em Portugal surjam estações deste tipo, no âmbito desse projecto [39]. Uma das grandes vantagens que evocam é o facto de todo o processo de substituição de baterias ser executado em cerca de 3 minutos [39].

A Figura 2.2 elucida uma possível forma para um sistema automático de troca de baterias. Este método tem como base as patentes apresentadas nesta secção. Observando a Figura 2.2 pode verificar-se que se a localização e tamanho da bateria o permitir, após o veículo se imobilizar no local pré-determinado pode iniciar-se o processo de troca.

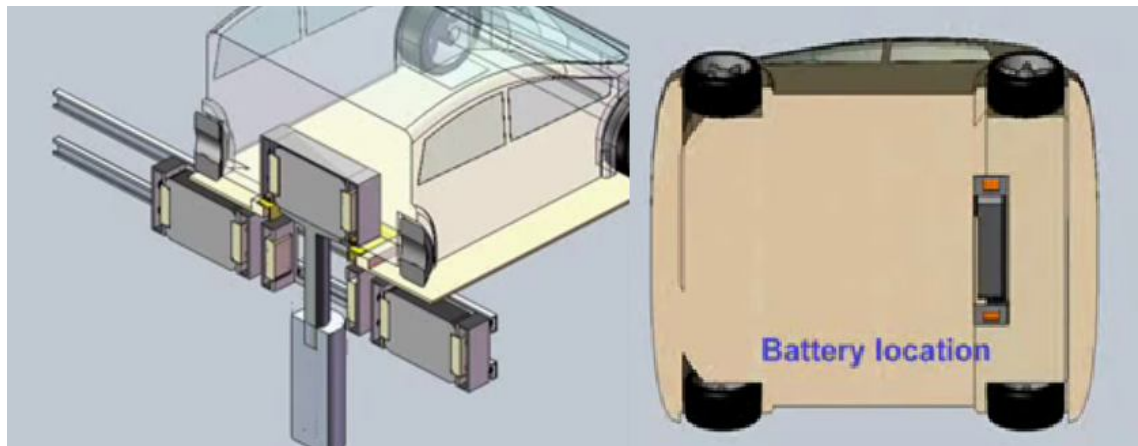


Figura 2.2 - Exemplo de um sistema automatizado de troca de baterias [40].

2.3.2.3. Estações de carga “dedicada”

Algumas unidades de carga são intituladas como unidades “dedicadas” pelo facto da estratégia de carga, que estas implementam, ser totalmente dedicada a um determinado tipo e configuração de bateria.

Normalmente, estações deste tipo são exclusivamente de carga rápida, devido à complexidade inerente a um algoritmo com estas características. As estratégias de carga rápida têm que ser minuciosamente estudadas e dependem da constituição da bateria. Logo, para se evitar danificar baterias sendo então uma determinada estratégia exclusivo de determinado modelo.

Empresas como Minit-Charger [41] e Posicharge [42] produzem exemplos destes tipos de carregadores, que implementam o processo de carga em corrente contínua. Após se estabelecer uma curva de aceitação de carga da bateria em conjunto com o fabricante da bateria, o método destas empresas consiste em implementar um algoritmo de carga que permita otimizar o processo de carga. A curva de aceitação de carga de uma bateria pode ser representada através do exemplo presente na Figura 2.3, baseada tecnologia patenteada do Minit-Charger [43]. Neste exemplo é representada a intensidade máxima da corrente de carga que a bateria pode aceitar em função do tempo. A corrente de carga que exceda a curva da corrente limite levará a que se entre num regime de sobrecarga, que afecta negativamente a bateria. Todavia, um valor demasiado inferior à corrente da curva de aceitação máxima leva a que se entre num regime de subcarga. Este regime traduz-se num alongamento desnecessário do tempo de carga e pode provocar uma diminuição da capacidade da bateria.

Contudo, um bom sistema de carga deve prever que as características da bateria se alteram à medida que vão sendo submetidas a processos de carga e descarga. Portanto, o algoritmo deve ser adaptativo à alteração das características. A Minit-Charger afirma que os seus modelos possuem essa funcionalidade, revelando-se uma grande vantagem [43].

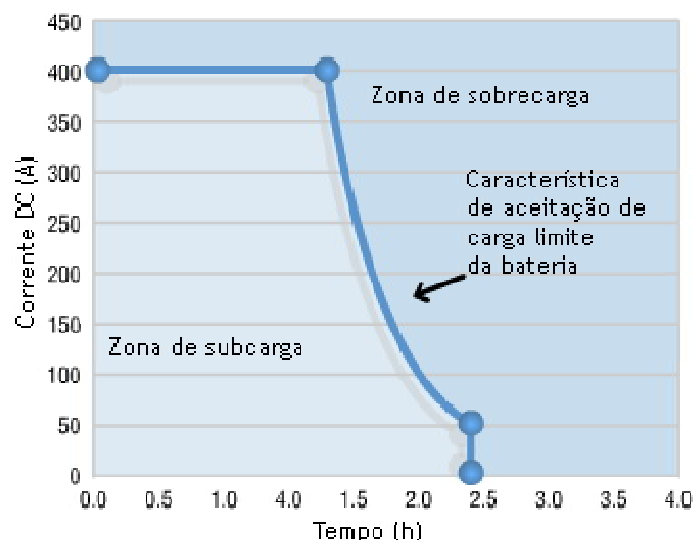


Figura 2.3 - Exemplo de uma curva de aceitação de carga de uma bateria, baseada em [43].

A *Posicharge* também apresenta um algoritmo de carga dedicada que assegura que não se prejudica a bateria. Portanto, implementa também o carregamento conforme a curva de aceitação de carga da bateria. Todavia, os sistemas desta empresa apresentam topologias diferentes. Nestas destaca-se a possibilidade de carregar vários veículos em simultâneo.

2.3.2.4. Postos de carga urbanos

Cada vez mais, estão a surgir ideias e empresas prontas a apostar em postos de carga urbanos. De várias soluções existentes no mundo, convém salientar alguns exemplos e alguns aspectos, para se ter em consideração o panorama actual deste assunto.

Portland General Electric [44] é uma empresa que implementou uma rede de postos de carga para VE ou PHEV, em Oregon, nos Estados Unidos. Nestes postos podem-se encontrar tomadas de 120V - 20A e, em alguns casos, dispõe também tomadas cuja tensão é de 240V.

Uma empresa que possui um sistema com mais inovações é a *Coulomb Technologies* [45]. Esta apresentou uma gama de postos de carga designada por *CT1000 Smartlet™ Charging Station*, com destino a Califórnia, EUA. As alternativas de carga que estes apresentam resumem-se a tomadas de 110V - 15A ou 220V - 15A. Todos os sistemas de fornecimento de energia, disponibilidade dos terminais e pagamento são geridos por um *software* centralizado. Os processos de comunicação evolutivos são efectuados via GSM/GPRS e geridos com auxílio da tecnologia GPS. Acrescenta-se ainda a utilização de um sistema de radiofrequência para autenticação do utilizador. Nesta gama destaca-se o facto de existir um sistema de *bi-directional energy metering*. Portanto, está incorporado um sistema de contagem de energia destinado não só para o caso em que um veículo se encontra a carregar, mas também num possível caso em que o veículo fornece energia à rede. Esta empresa já vocaciona as suas unidades para estarem preparadas para implementação da ideia do *vehicle to grid*.

Analisando mais um caso prático, tem-se a empresa *Elektromotive* [46], a quem pertence o modelo de estações de carga *Electrobay*. Uma versão deste modelo é destinada à utilização no Reino Unido, onde se pode encontrar uma tomada de 240VAC, 13A e uma gama de

frequência 50-60Hz, protegida por fusível contra sobrecargas e curto-circuitos. Esta estação de carga, baseia-se num sistema inteligente, cuja autenticação do utilizador é feita via radiofrequência. Convém salientar ainda, o facto de esta instalação obedecer às directivas 73/23/CEE - Baixa Tensão e 89/336/CEE - Compatibilidade Electromagnética, da Comunidade Europeia, onde veiculam normas que o equipamento eléctrico deve cumprir.

À semelhança do referido no ponto 2.3.2.2, no projecto *Better Place*, também surgirão postos de carga que disponibilizarão tomadas, com características dependentes do país onde será instalado [47]. Todavia, neste projecto é avançado que existirão tomadas com potências de 3,3kW e 6,6kW.

Por fim, refere-se como exemplo os postos de carga da EDP apresentados na “Semana da Mobilidade”, designados por *Watt Drive* [48]. Apesar de não estarem disponíveis informações técnicas, tendo em conta os veículos apresentados nesse programa, nos postos estarão disponíveis tomadas eléctricas *standard*, 230V e/ou 400V.

2.4. Técnicas de carga de baterias

O acto de carregar uma bateria não é um processo simples, devido a vários factores como segurança, eficiência e tempo. Em termos de segurança, quando se projecta um sistema de carregamento é necessário ter em conta a bateria a que se destina, de forma a evitar a ocorrência de fenómenos como sobrecarga ou subcarga. Como se referiu em 2.2, existem baterias que no caso de não receberem a quantidade suficiente de corrente, presumindo a tensão nos limites adequados, as suas características podem ser adulteradas devido a reacções químicas parasitas. Este fenómeno designa-se por subcarga e pode ter consequências prejudiciais à bateria. Outro fenómeno a evitar é o regime de sobrecarga. Supondo mais uma vez a tensão dentro dos limites, caso se exceda o nível de corrente no tempo, que a bateria consegue suportar, esta poderá sofrer alterações físicas [49]. Qualquer um destes fenómenos pode contribuir fortemente para a diminuição do tempo de “vida”, capacidade de armazenamento e desempenho da bateria [27 e 49].

O acto de decisão da técnica de carregamento mais adequada deverá partir do fabricante, que após várias experiências indique qual a técnica que permita obter melhores resultados. Estes resultados devem ter como objectivo a minimização do tempo de carga, redução do risco de sobrecarga, maximizar a longevidade das baterias. Analisando sumariamente um estudo do controlo de carga para topologias *Lead Acid* [50], pode verificar-se que não existem métodos exactos para cada tipo de bateria sendo necessário fazer um estudo de optimização para cada modelo. No referido documento encontra-se uma comparação entre os métodos de carga: corrente constante/tensão constante, impulsos de corrente e *Reflex charging*. Para uma bateria VRLA constituída por 4 módulos em série de 26Ah, embora com resultados razoavelmente próximos em todas as soluções, o melhor resultado foi obtido pelo método de impulsos [50]. Para uma bateria de constituição diferente, outro método poder-se-ia evidenciar, por isso é indispensável um estudo prévio e rigoroso da bateria.

Com o objectivo de analisar possíveis cenários de carga, nos tópicos seguintes, procede-se com uma descrição sumária das técnicas mais utilizadas.

2.4.1. Corrente constante

O método de carga convencional mais utilizado consiste na aplicação de uma corrente constante, de baixa magnitude, aplicada aos terminais da bateria - *trickle charging* [27]. Tipicamente, esta técnica é utilizada em determinados carregadores cuja finalidade é serem utilizados durante a noite - *overnight chargers* [27].

Apesar de constituir uma alternativa de design simples e consequente baixo custo de implementação, esta técnica tem o entrave de não otimizar o desempenho da bateria [49]. A baixa taxa de corrente de carga faz com que as reacções químicas se localizem principalmente na superfície dos eléctrodos, provocando a formação de “dendrites” [49]. A formação desta substância prejudica o funcionamento da bateria, diminuindo o número de ciclos de carga/descarga, que esta pode ser submetida [49].

Os carregadores de corrente constante provocam um aumento da tensão aos terminais da bateria [49 e 51]. Em alguns casos, este aumento da tensão pode ser utilizado para prever uma evolução do estado de carga [51]. Portanto, o carregamento termina quando se atinge um determinado valor de tensão, que indique com segurança o estado de bateria carregada. No entanto, convém sublinhar, que esta abordagem de determinação do final de carga pode apenas ser utilizada com segurança para apenas alguns tipos de células ou baterias [51]. Este comportamento está representado com a cor verde na Figura 2.4.

À medida que se tenta reduzir o tempo de carregamento, aumenta-se a intensidade da corrente constante aplicada. Porém, quanto maior a magnitude utilizada, maior o perigo de sobrecarga da bateria. A aplicação de uma elevada intensidade de corrente provoca um aumento da temperatura interna da bateria, podendo assim leva-la ao estado de sobrecarga e/ou diminuir a eficiência do processo de carga [27].

2.4.2. Tensão constante

Neste modo de carregamento, tal como o título sugere, é aplicada uma magnitude de tensão constante na bateria, provocando uma variação de corrente [51]. A baixa percentagem de carga a corrente é elevada, enquanto em níveis de carga mais elevados esta vai sendo cada vez menor [51]. Este comportamento pode ser observado na Figura 2.4, com a cor azul.

À medida que vai recebendo correntes mais elevadas, a temperatura interna da bateria vai aumentando [51]. Assim, com o objectivo de manter o regime de carga em níveis seguros de temperatura, a corrente tem que diminuir [51]. Mantendo a tensão no mesmo nível, consegue-se essa pretendida diminuição que, por sua vez, permite controlar o aumento da temperatura [51]. Consequentemente, como condição de fim de carga, é utilizado um valor de corrente mínimo que indique o estado de bateria carregada [49].

Esta abordagem traz o benefício de evitar o sobreaquecimento interno da bateria. Contudo, como a tensão de carga não oscila livremente, torna-se um entrave à utilização de modelos dinâmicos para medição do estado de carga da bateria ou medição de grandezas que facultam uma avaliação da “saúde” da bateria [49]. Nas baterias que impliquem a utilização de uma tensão de baixa magnitude, o tempo de carga é excessivamente longo. Este facto não

só traz a desvantagem de elevado tempo de espera, mas também as desvantagens enunciadas em 2.4.1, quando é aplicada uma corrente de magnitude baixa [49] e [51].

2.4.3. Corrente constante -Tensão constante

A presente solução consiste num método híbrido dos dois anteriormente descritos em 2.4.1 e 2.4.2. Este é o mais indicado para baterias que são vulneráveis a serem gravemente danificadas quando o seu limite máximo de tensão é excedido, como é o caso das baterias de lítio [49].

De forma a possibilitar um carregamento inicial, poupando tempo, inicia-se o processo de carga com uma corrente de magnitude constante. A magnitude desta corrente deve ser elevada o suficiente de forma a possibilitar uma carga rápida, exigindo que até um determinado valor de tensão, não exista qualquer perigo de sobrecarga [52].

O aumento de tensão provocado pela referida alimentação em corrente constante, deve obedecer a um limite máximo de segurança, impôs-to pelo fabricante [52]. Este limite é inferior ao limite máximo que efectivamente a bateria aguenta e, geralmente, situa-se a níveis de carga avançados, exemplo 80% [52]. Após ser atingido o limite máximo de tensão, abandona-se o controlo da corrente e passa-se a controlar a tensão. Assim, o valor da corrente aplicada deixa de ser constante e começa a diminuir para que a tensão de mantenha no valor máximo especificado [52]. O processo de carga termina quando o valor mínimo de corrente estipulada for atingido. Obedecendo a estes princípios, pode-se afirmar que esta metodologia constitui uma solução segura e relativamente rápida [49] e [52].

O comportamento da evolução da corrente e da tensão ao longo do evoluir do tempo de carga pode ser observado na Figura 2.4. Nesta figura é apresentado um exemplo a uma taxa de carga inicial de 1C, ou seja, a corrente inicial apresenta a mesma intensidade que a capacidade da bateria. Portanto, por exemplo, no caso de a bateria ser de 16Ah, essa corrente corresponde a 16 amperes. Quando o mínimo de corrente representado, na Figura 2.4, é atingido o processo de carga dá-se por concluído.

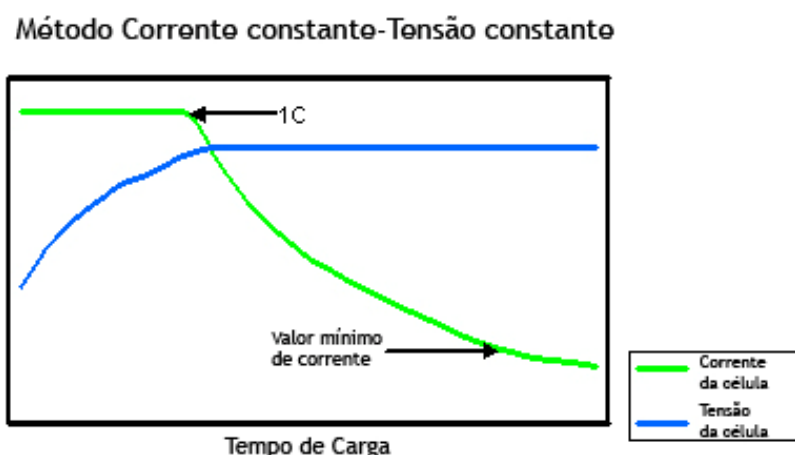


Figura 2.4 - Método Corrente constante - Tensão constante, baseado em [49].

2.4.4. Impulsos de corrente

Como já foi descrito nos tópicos anteriores, quando se utiliza a solução de corrente constante de elevada magnitude, a preocupação é o perigo de sobrecarga. Este método surgiu com a finalidade de diminuir esse risco e aumentar a eficiência do processo de carga [27].

O processo de carga por impulsos consiste, genericamente, em aplicar um impulso de corrente com uma duração típica de cerca de 1 segundo, seguido de um período de descanso (corrente nula) de tipicamente 20 a 30 microsegundos [27]. A introdução de um período de pausa permite a estabilização das reacções electroquímicas, permitindo um menor crescimento da temperatura, diminuindo-se o risco de sobrecarga e aumentando a eficiência do processo, como já se referiu [27] e [49]. Outra vantagem do período de descanso é o facto de se suavizarem eventuais reacções não desejadas, como por exemplo, formação de cristais, que provocam uma diminuição do potencial e tempo de vida da bateria [49].

Este método de carga pode ser observado na Figura 2.5, nomeadamente, apenas tendo em atenção o eixo positivo da corrente eléctrica.

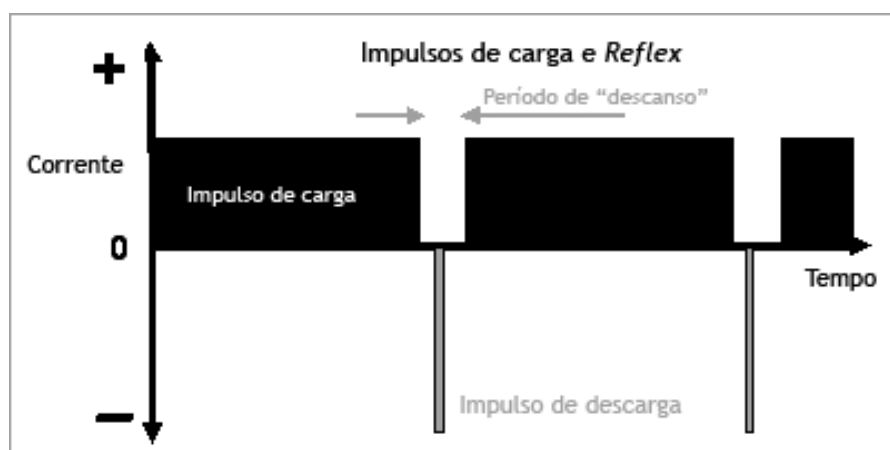


Figura 2.5 - Método de Impulsos de carga e *Reflex charging*, baseado em [49].

2.4.5. *Reflex charging*

Este método de carga compreende o método descrito em 2.4.4 associado a um impulso negativo. Portanto, este método consiste em adicionar, a um método de carga por impulsos, um pequeno período de descarga no período de descanso [49]. Este fenómeno é perceptível na análise da Figura 2.5. Tipicamente, a corrente de descarga é 2 a 3 vezes a magnitude do impulso de carga utilizado, e a duração não ultrapassa os 5 microsegundos [49].

A fase de descarga traz a vantagem de acelerar o processo de estabilização das reacções químicas, que é bastante benéfico para todo o processo de carga e para a “saúde” da bateria [49]. Existem estudos que afirmam que esta técnica ajuda a eliminar eventuais dendrites outrora formadas nos eléctrodos, contudo é seguro dizer que pelo menos não danifica a bateria [49].

2.4.6. Corrente constante - *Multi-step*

Com o objectivo de melhorar a segurança do método 2.4.1, pode adoptar-se uma solução *multi-step*. Ou seja, em vez de se aplicar apenas um degrau, podem aplicar-se vários de modo que antes de se atingir uma situação prejudicial à bateria, se diminua a magnitude do degrau [53].

Uma solução *multi-step* terá que compreender, no mínimo, dois impulsos de corrente de diferentes magnitudes. Dependendo da constituição da bateria, à medida que se aumenta o número de impulsos, diminui o tempo de carga, diminui-se o risco de sobrecarga, diminui o aquecimento interno, aumentando assim sua longevidade [53]. Contudo, existirá um número óptimo de degraus a usar, tendo em conta factores como eficácia, complexidade do carregador e preço do carregador, tipo e configuração da bateria [53].

Esta noção permite então compreender que em termos ideais, uma solução perfeita de carga não seria a solução discreta apresentada, mas sim uma representada por uma curva contínua de corrente.

2.5. Sistema de controlo e monitorização de baterias

Neste subcapítulo apresentam-se os aspectos fundamentais para o sistema de controlo e monitorização das baterias.

Existem vários tipos de veículos, movidos a electricidade, que possuem um *Battery (Energy) Management System*, que assume um papel importante na optimização dos mecanismos de controlo dos processos de carga e descarga, assim como na monitorização do estado da bateria [54]. À semelhança do sistema utilizado nos veículos, uma estação de carregamento deve incorporar um BMS que permita controlar e monitorizar todos os parâmetros necessários. Concretamente, no âmbito desta dissertação, de todas as funções possíveis num BMS são de destacar:

- Determinação do estado de carga - SOC;
- Determinação do estado de “saúde” da bateria - SOH;
- Memorização de informações de um determinado número de processos de carga da bateria. Informações como capacidade de carga, taxas de correntes de carga, tensões, temperaturas, etc. Estes dados, associados a eventuais dados existentes de testes do fabricante, são usados num sistema de diagnóstico da bateria e no controlo da mesma [54].
- Processamento, controlo de um determinado algoritmo de carga, controlando um carregador interno ou exterior [55]. Através do controlo de parâmetros como temperatura interna, tensão, corrente, densidades e pressão dependendo do tipo de bateria [55].
- Optimização do processo de carga [54]. Em muitos casos, o algoritmo de carga tem em conta o facto de as características da bateria se alterarem à medida que vai sendo utilizada. Assim, à medida que o BMS regista determinados valores vai implementando instruções, que constituem um processo de optimização da técnica de carregamento [54, 55].
- Controlo térmico das baterias (aquecer ou arrefecer se necessário) [54].

- Protecção contra curto-circuitos, contra perda de isolamento eléctrico e/ou térmico [54].
- Equalização do nível de carga entre os vários módulos constituintes da(s) bateria(s).

Para implementação destas funções, entre outros, o BMS utiliza instrumentos como sensores, termistores, transdutores (analógico-digital), disjuntores, interruptores [56].

Sendo o BMS um sistema essencial no manuseamento da bateria, é importante focar detalhadamente algumas funcionalidades que se revelam importantes. Assim, nas secções seguintes são apresentados todos os aspectos necessários.

2.5.1. Determinação do estado de carga - SOC

O estado de carga da bateria (SOC) é uma informação importante, nomeadamente para a estratégia de monitorização do sistema. O conceito de estado de carga deve ser entendido como a razão entre a capacidade disponível no momento e a capacidade total da bateria [7]. O método para determinar esta grandeza pode constituir um problema mais ou menos complexo dependendo do tipo, capacidade e constituição da bateria [7]. Neste momento, o objectivo é identificar os problemas inerentes a esta medição, assim como identificar e analisar métodos possíveis de utilizar para o efeito.

Para determinar esta grandeza é necessário conhecer a sua relação com outros aspectos ou grandezas conhecidas. Com o objectivo de conhecer o SOC, em seguida, destacam-se um conjunto de relações e métodos, indicados para o efeito.

2.5.1.1. Relação com a tensão em circuito aberto

Estudos existentes afirmam que, no geral, a tensão em circuito aberto (OCV) das baterias apresentam uma relação com o SOC. No entanto, as baterias de tracção de grande capacidade usadas pelos VE e PHEV, só apresentam uma relação quando a OCV está estabilizada - SOCV [7]. Isto é, após ter estado sujeita a um processo de carga ou descarga, já em circuito aberto a bateria necessita de um período de estabilização [7]. Este período varia com o tipo e configuração da bateria, algumas referências indicam que alguns modelos necessitam de horas para estabilizar completamente [57]. Após períodos de 15 a 30 minutos, as oscilações da tensão são menores e já é possível obter resultados com bom grau de exactidão [7] e [58].

Esta técnica implica vários testes ao modelo de bateria em estudo, em várias gamas e temperaturas, pois é a única forma de compreender a correlação entre a OCV e a respectiva capacidade disponível [59]. Destes testes devem surgir tabelas que relacionem as duas grandezas, a determinadas temperaturas características para permitir a adaptação das mesmas a vários ambientes de utilização [59]. É de sublinhar que não é possível obter uma relação normalizada por tipo de bateria, os valores obtidos dependem não só do tipo de bateria mas também da sua configuração, número de células envolvidas entre outros aspectos [59].

Um sistema deste tipo tem a vantagem de ser fácil e barato de implementar e de permitir obter bons resultados [59]. Porém, existe as desvantagens de a exactidão dos valores ser

apenas elevada para os ambientes especificados em detalhe pelo fabricante e para baterias novas, diminuindo a exactidão dos valores com a “idade” da bateria [59].

O facto de ser necessário um tempo de espera relativamente elevado, que permita a estabilização da tensão, também constitui uma importante limitação. Já que torna impossível de usar em sistemas dinâmicos, onde não seja possível parar o sistema durante o tempo necessário [59].

Apesar de não existirem relações padrão, existem aproximações típicas, das quais se podem referir os exemplos das seguintes figuras (2.5 e 2.6):

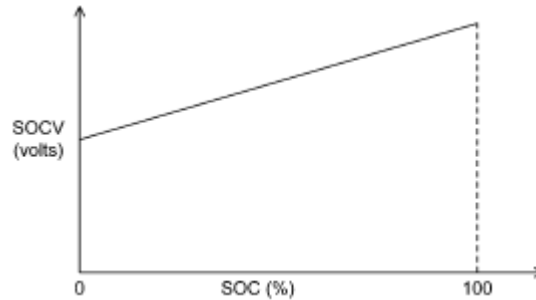


Figura 2.6 - Relação típica da SOCV em função do SOC para baterias de *Lead Acid* e de *Lithium-Ion* [7].

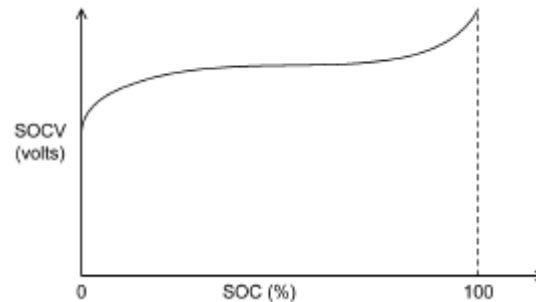


Figura 2.7 - Relação típica da SOCV em função do SOC para baterias de NiMH [7].

2.5.1.2. *Coulometric method*

A capacidade de carga de uma bateria, deve ser medida em watt-hora (Wh). Porém como a tensão não sofre elevadas variações, é possível designar a capacidade por amperes-hora, Ah [58]. Logo, uma das formas de constantemente medir o nível de carga será medindo a corrente eléctrica fornecida pelo carregador às baterias, no tempo, convertendo esse valor para uma unidade de carga Ah.

Para implementar a ideia anterior deve ser usado um microprocessador que permita integrar no tempo a corrente de carga de modo a capacidade instantânea da bateria. Este método permite obter melhores resultados que outros métodos tradicionais, traduzindo-se numa maior fiabilidade dos resultados [58].

Assim o processo anterior é matematicamente descrito por: [57, 58e 60]

$$SOC(t) = SOC(t_0) + \frac{1}{c_N} \int_0^t (I_{carga} - I_{perdas}) d\tau \quad (2.1)$$

$SOC(t)$ - instante no qual se pretende determinar o estado de carga;

$SOC(t_0)$ - estado de carga no momento imediatamente antes de iniciar a integração da corrente;

C_N - capacidade nominal da bateria;

I_{carga} - corrente eléctrica destinada a carga da bateria;

I_{perdas} - corrente eléctrica de perdas, corresponde ao valor de corrente consumida durante as reacções internas na bateria;

Um dos problemas inerentes a uma bateria é o facto da sua capacidade de carga poder diminuir com a "idade" [60]. Ou seja, à medida que esta vai sendo submetida a ciclos de carga e descarga podem acontecer problemas, como diminuição da aceitação de carga do material activo em cada um dos eléctrodos, alterações das propriedades físicas do electrólito e/ou corrosão de materiais condutores [60]. Portanto, um método de medição do estado de carga, mais rigoroso, deve ter em conta este facto, não devendo ser adoptada uma medida padrão para C_N [60].

Em relação à corrente de perdas, em termos gerais, esta pode ser modelizada atribuindo um coeficiente constante a cada processo de carga [57]. Contudo, esta constitui uma solução mais rudimentar e barata, tendo a desvantagem de obter aproximações mais erróneas, do que em métodos dinâmicos.

Um processo muito mais rigoroso e exacto seria elaborar um modelo mais complexo que permita modelizar a corrente de perdas instantaneamente. Todavia, um modelo com estas características depende principalmente de factores empíricos, o que implica uma gama de testes ao modelo de bateria em estudo [57].

Para além de todos os aspectos referidos, esta solução exige o conhecimento do estado de carga inicial da bateria [57]. O que implica a existência de outro método que permita o conhecimento do SOC inicial, $SOC(t_0)$.

2.5.1.3. Relação com parâmetros impedantes

Em diversas literaturas existentes, o conceito de impedância de uma bateria tem diferentes significados. Conclui-se então que cada definição está intimamente ligada ao método utilizado para determinar essa mesma impedância. Dada a complexidade dos modelos dinâmicos representativos das baterias, cada método permite medir determinados comportamentos da bateria (resistivos, indutivos, capacitivos) [61].

Nos últimos anos, os métodos de medição de grandezas impedantes da bateria têm vindo a ser desenvolvidos. Todos se baseiam no princípio de que a resistência interna ou condutância AC ou impedância da bateria é directamente relacionável com a carga disponível [59]. Por exemplo, se a resistência interna aumenta, a capacidade da bateria em armazenar energia diminui. No entanto, as relações não são típicas ou padronizáveis, pelo que diferentes tipos e diferentes construções possuem diferentes correlações [62]. Em seguida apresentam-se as definições mais utilizadas:

Uma definição utilizada consiste em determinar a impedância electroquímica (ou impedância AC) em determinados períodos e encontra-se descrita em [62]. Esta grandeza

caracteriza o comportamento dinâmico da bateria, que será a resposta da mesma a um sinal de pequena amplitude. Este método possui o entrave de ter que ser cuidadosamente testado de modo adoptar procedimentos que evitem a obtenção de valores significativamente afectados de ruído. A obtenção de uma relação da impedância com os estados SOC e SOH, variam muito com o tipo de bateria e condições experimentais, sendo necessário um elevado número de testes para se obterem resultados fiáveis e com aceitáveis índices de precisão [62 e 63].

Outra técnica para determinar a resistência interna consiste em interromper uma corrente de carga ou descarga teste que se impõe à bateria [59 e 62]. Quando esta corrente é interrompida, é necessário um período de repouso T , no qual se observará uma variação da tensão aos terminais da mesma. Neste caso, a resistência interna é determinada pelo quociente entre a queda de tensão verificada e o valor de corrente teste, antes de ser interrompido o circuito. Em relação ao método anterior, este tem a desvantagem de ser necessário um tempo de espera, que em certas alturas para o sistema em estudo poderá ser um entrave caso esse tempo seja relativamente longo. Todavia, este tem a vantagem de diminuir a sensibilidade a ruídos, característica da técnica anterior.

Uma definição, também, existente consiste em aplicar um impulso de corrente à bateria, durante o processo de carga ou descarga [59]. Este método implica a existência de uma fonte ou carregador adicional que seja capaz de fornecer a respectiva corrente de impulso, durante o normal processo de carregamento. Este impulso geralmente deve ser de elevada magnitude (ex. 2 a 5C) e durante um curto período de tempo (ex. 1ms), induzindo assim, após um período de tempo T uma queda de tensão aos terminais da bateria. A resistência interna é então determinada pelo quociente entre a diferença de tensão induzida e a magnitude do referido impulso. Relativamente às duas anteriores, esta solução permite colmatar a situação de tempos de espera, mas como no primeiro caso também possui a desvantagem de ser bastante influenciável por ruídos [59 e 62]. Este método requer especial atenção no que diz respeito a sobrecargas, pois, apesar de o impulso ocorrer num curto período de tempo, é necessário certificar que a magnitude de corrente usada não é susceptível de danificar a bateria ou outros elementos do circuito.

Concluindo, a utilização de qualquer um dos vários métodos implica um conjunto de testes, de modo a encontrar uma relação fiável entre os valores das resistências e respectivas informações de SOC e SOH [59].

2.5.1.4. Outros métodos

Todos os métodos clássicos referidos, como a medição de impedâncias, medição da tensão em circuito aberto e medição de carga, têm em comum o facto de apresentarem um erro de valor considerável. Então surgiram abordagens mais complexas que permitem reduzir consideravelmente esses erros. Um exemplo com estas características é apresentado em [64]. Aqui o método de determinação do estado de carga baseia-se numa estimação através de uma rede neuronal, que utiliza como função de SOC, vários parâmetros da bateria. Porém este método não é facilmente implementável numa estação de carregamento, pois implica um profundo conhecimento do comportamento da bateria. Ou seja, necessita de um conjunto de dados empíricos da bateria que só podem ser obtidos após testes extensos.

A descarga da bateria, em condições controladas, permite obter bons resultados [57]. No entanto, também não é uma técnica muito implementada por implicar consecutivas cargas e descargas da bateria [57]. Pois provoca uma interrupção do sistema que se traduz numa elevada perda de tempo, o que é extremamente inconveniente.

Após todas estas descrições, não se referirá a métodos específicos de cada tipo de bateria por não serem viáveis para implementação numa estação de carga. Pois implicaria uma enorme “base de dados” e o manuseamento de um vasto conjunto de dados.

2.5.2. Determinação do estado de “saúde” - SOH

A determinação de uma avaliação da “saúde” da bateria não é um processo imediato, pois resulta de uma comparação de grandezas. Apesar de existirem muitas formas de atingir este objectivo, apenas vão-se focar os mais utilizados.

Uma das formas mais usuais para uma avaliação desta natureza baseia-se numa comparação entre grandezas características da bateria. Essas características da bateria não só dependem do tipo e configuração da bateria, mas também de um ou mais factores ambientais e estados da bateria [65]. Contudo, medidos sob condições análogas, grandezas como resistências internas, SOCV, capacidade de armazenamento, taxas de evolução da temperatura, comportamentos face a uma determinada descarga ou carga exigida, características do electrólito, entre outros, podem permitir caracterizar a “saúde” da bateria [65 e 66]. Assim, é necessária a existência de uma base de dados que permita guardar um conjunto de valores, de uma ou mais das referidas grandezas [65]. Reunidas as condições, efectua-se uma comparação entre dados referentes a uma bateria “ótima” e/ou “degradada” e a bateria em análise. Ao nível das grandezas impedantes, em 2.5.1.3 foi apresentado um conjunto de métodos e medições que são válidos que para determinação de SOC ou SOH.

Outro modo também posto em prática reside na comparação entre diferentes métodos de estimação do SOC. Por exemplo, no artigo “An adaptive battery monitoring system for an electric vehicle” [67] é citado um caso onde o SOH é obtido pela comparação dos métodos de SOC analisados em 2.5.1.1 e em 2.5.1.2. Neste caso a comparação é feita num SOC próximo de 100% e a base da comparação baseia-se no facto de ambos os métodos apresentarem resultados diferentes com a “idade” da bateria. Ou seja, à medida que vai sendo submetida a ciclos de carga e descarga.

2.5.3. Equalização de carga

O processo de construção de baterias tem uma importante limitação no que se refere a desigualdades entre células [68]. Ou seja, utilizando as mesmas topologias, os mesmos materiais, as mesmas condições, o mesmo processo construtivo, o resultado é sempre o mesmo, as células resultantes têm características diferentes. Portanto, têm resistências internas diferentes respondendo de um modo diferente aos vários processos de carga e descarga [68]. A organização das células leva à existência de módulos com menor resistência electroquímica, constituindo um caminho preferencial à corrente eléctrica proveniente de um carregador que seja acoplado [69]. Logo, existem módulos que carregam mais

rapidamente que outros, sendo necessário impedir que determinadas células fiquem a altas temperaturas atingindo o estado de sobrecarga, enquanto outras ainda estão a carregar a temperaturas normais [69]. Com o fenómeno de sobrecarga, as células são degradadas parcial ou totalmente diminuindo o seu tempo de vida e em consequência, diminuindo o tempo de vida assim como a capacidade da bateria [69].

Para diminuir o risco de se danificarem células da bateria, esta deve ser analisada como sendo um conjunto de módulos, e não como um todo [54]. Em termos ideais, uma monitorização das células seria exigida, mas como um “pack” pode conter milhares de células, nem sequer se discute tal procedimento. A monitorização por módulo constitui uma boa solução, permitindo diminuir o risco de sobrecarga [68]. Assim promove-se a longevidade da bateria e a segurança do sistema.

O próprio sistema de BMS do VE ou PHEV pode incluir um carregador auxiliar cuja função é manter um pré-determinado nível de equalização de carga dos módulos [54]. Esta solução é interessante, já que não implica interromper o processo de carga geral, mas tem que ser cuidadosamente aplicada de modo a não exceder a intensidade de corrente total que cada módulo aguentará.

Não adoptando a solução anterior, num SOC avançado, o processo de carga deverá ser interrompido de forma a proceder a equalização entre módulos [68]. O valor seguro de SOC depende, mais uma vez, da bateria e do método em questão.

2.5.1. Controlo térmico

Embora a maioria das baterias de tracção estejam preparadas para serem usadas à temperatura ambiente, em determinadas condições climáticas algumas necessitam de uma maior temperatura para iniciarem o processo de descarga ou serem sujeitas a um processo de recarga. Por outro lado, durante o processo de carga estas podem também necessitar de arrefecer [16].

Quando é escolhido o design e topologia das baterias, têm que se determinar todos os requisitos térmicos, pois são fundamentais para a “saúde” das mesmas [16].

Com o objectivo de corresponder às necessidades térmicas das baterias, por indicação dos fabricantes, uma estação de carregamento poderá ter a necessidade de possuir uma instalação que permita controlar a temperatura ambiente das baterias. Pois, esta grandeza influenciará a temperatura interna das mesmas, que deverá ser acessível ao sistema de controlo por meio de transdutores - termístores.

2.5.2. Baterias “inteligentes”

As baterias “inteligentes” são uma tecnologia de baterias com funcionalidades mais complexas, onde se pode destacar a existência de um micro-circuito integrado, um compartimento de memória e um ou mais transdutores [70].

O micro-circuito possibilita o processamento de dados e um protocolo de comunicação, que permite à bateria conduzir o processo de carga. Ou seja, neste caso o sistema bateria-carregador funcionará no modo *master-slave*, respectivamente [70]. Assim a unidade de

carga fornecerá instantaneamente a potência que a bateria inteligente designar. Num modo mais evoluído, o protocolo de comunicação estende-se à comunicação de outros dados, como SOC, SOH e informações de tempo [70]. Este protocolo, através de um sistema de interligação permite uma interacção com o utilizador.

A memória existente destina-se ao armazenamento de todos os dados necessário. Esses dados podem ser definitivos, indicados pelo fabricante, ou temporários, visto que vão sendo gravados com a utilização da bateria [70]. Os dados do fabricante serão essencialmente dados de carga/descarga e valores de grandezas padrão do determinado tipo de bateria (ex: resistência interna, tensões, etc.) [65]. Os dados temporários são essencialmente medições de temperaturas, tensão, corrente e tempo de carga que serão essencialmente utilizados pelos sistemas de monitorização e diagnóstico [70]. Algumas baterias inteligentes podem conter somente um algoritmo de carga [70]. Contudo, existem versões mais evoluídas que, através de um sistema de diagnóstico, vão ajustando o algoritmo de carga consoante o estado da bateria [70].

Um dos transdutores frequentemente utilizados é o térmistor, por ser um semi-condutor sensível à temperatura, permitindo assim a monitorização desta grandeza [70].

Em síntese, entre outras, uma bateria “inteligente” pode então assumir funções importantes como prever o tempo de vida restante da bateria, capacidade, tempo de recarga, medição de valores de corrente, tensão e temperatura e possuir todas as informações necessárias para o processo de carga [65 e 70].

2.6. *Vehicle to grid* - V2G

Com o renascer da temática dos veículos de propulsão eléctrica, cada vez mais tem sido falada e pensada a ideia do *vehicle to grid*. Esta ideia consiste num sistema de ligação dos VE e PHEV à rede eléctrica, constituindo assim uma forma de aproveitamento da capacidade de energia dos veículos estacionados para injectar energia eléctrica na rede. Os veículos que possuem a tecnologia de *fuel cells*, com possibilidade de ligação à rede [71], também constituem um meio de implementação desta ideia. Contudo, estes não vão ser mencionados no âmbito desta dissertação, pois os objectivos a cumprir destinam-se especificamente aos VE e PHEV.

Como pode ser observado na Figura 2.8, os veículos referidos podem ser ligados directamente no próprio edifício residencial ou através de outros locais de estacionamento equipados com meios eléctricos para esse fim.

Estudos afirmam que, em média, um veículo de um utilizador particular, está parado ou estacionado de 93 a 96% do seu tempo de vida [72]. Portanto, este facto permite concluir que os veículos particulares possuem energia armazenada nas suas baterias que está a ser subaproveitada. Assim surge o interesse de aproveitar esta forma de energia, que permite uma maior rentabilização de um investimento elevado [72], como é o caso da aquisição VE e PHEV.

Os serviços eléctricos podem ser caracterizados de acordo com o mercado energético específico, que diferem no método de controlo, tempo de resposta, duração da potência de despacho, termos contratuais e preço [72]. Os tipos de mercado existentes são basicamente

de quatro formas: base do diagrama de cargas, potência de pico do diagrama de cargas, reserva girante e serviços de regulação [71 e 72]. Do ponto de vista de fornecimento de energia, os veículos de propulsão eléctrica podem ser caracterizados pela sua capacidade de resposta rápida, curta duração e baixos custos [71]. Tendo em conta estes dados, podem analisar-se os seguintes aspectos:

- A base do diagrama de cargas consiste no mercado das centrais responsáveis pela base da alimentação contínua às cargas existentes. As centrais produtoras mais indicadas serão as que sejam capazes de assegurar o serviço continuamente. Vários estudos testaram a viabilidade do V2G para este tipo de mercado, concluindo assim a sua inadequação [71 e 72];
- A exigência de potências de pico do diagrama de cargas advém do facto de, em algumas alturas do dia, quando altos níveis de procura de carga são esperados são necessárias centrais de geração que possam entrar em serviço relativamente rápido, como por exemplo as centrais de turbinas a gás [72]. Como certos picos de potência ocorrem poucas vezes no ano, o investimento de determinados tipos de centrais pode constituir uma solução muito dispendiosa [72]. Assim, em determinados casos, a ideia do V2G pode ter viabilidade neste tipo de mercado [71].
- As centrais em regime de reserva girante encontram-se sincronizadas com a rede, a produzir abaixo da sua capacidade máxima, possuindo assim uma reserva de potência pronta a entrar em serviço imediatamente [73]. Este modelo contribui para a estabilidade da rede pois promove o controlo da frequência do sistema, no caso de algum problema, como o exemplo de saída de serviço de alguma unidade de produção. Tendo em conta todas as características descritas, neste caso, o V2G poderá ser uma solução competitiva [71 e 72].
- Os serviços de regulação são usados continuamente, de forma a estabelecer um balanço entre a geração e a carga, em termos de tensão e frequência da rede. Esta solução é vulgarmente descrita por *automatic generation control* -AGC [72]. Mais uma vez, está-se perante uma solução que exige um excesso de geração disponível na rede. Na referência [71], o V2G é apontado como uma possível solução bastante competitiva.

Para além de uma vertente de possíveis lucros, nos mercados especificados, o V2G pode ainda ter outra utilidade especialmente importante nos dias de hoje que é a possibilidade de desempenhar um papel essencial numa situação onde se enfrente uma crise da rede eléctrica [74]. Na ocorrência de *blackouts* regionais e/ou, por exemplo, ataques terroristas a importantes centrais [74], o sector eléctrico encontra-se perante uma crise que necessita de soluções. Sendo alvos mais difíceis, poderão existir VE e PHEV disponíveis a fornecer à rede, obtendo-se assim uma importante opção de injeção para promover o equilíbrio do sistema e alimentar cargas prioritárias.

Todas as características enunciadas denotam a importância de pensar na criação de uma estrutura que permita a implementação real do V2G. No que diz respeito à gestão e controlo do V2G, é necessário um sistema e método análogo ao existente na patente 0282495 [75]. Este último sistema permite resolver questões como o cálculo da máxima potência disponível DC, determinar a eficácia de inversão DC/AC e o período de disponibilidade da referida potência. Na Figura 2.8, representa-se também o esquema de ligação do referido sistema de

gestão e controlo. Como se pode observar, as informações necessárias a esse sistema são emitidas via tecnologia sem fios. Na referida figura, o ISO (*Independent System Operator*) representa o operador de sistema que efectua a troca de todas as informações necessárias directamente com a instalação ou veículo, conforme o caso.

Ao nível dos veículos referidos, analisando a tabela A.1, constata-se que os PHEV *Volvo C30* e o *Toyota Prius* são exemplos habilitados ao V2G. Mais exemplos poderão estar habilitados, no entanto não se encontraram informações concretas acerca destes aspectos. O Volvo possui um inversor interno que o permite ligar directamente à rede. Contudo, podem existir outros veículos com inversores internos, mas também outros que permitam o acesso directo às baterias, sendo necessária uma unidade de inversão DC/AC externa.

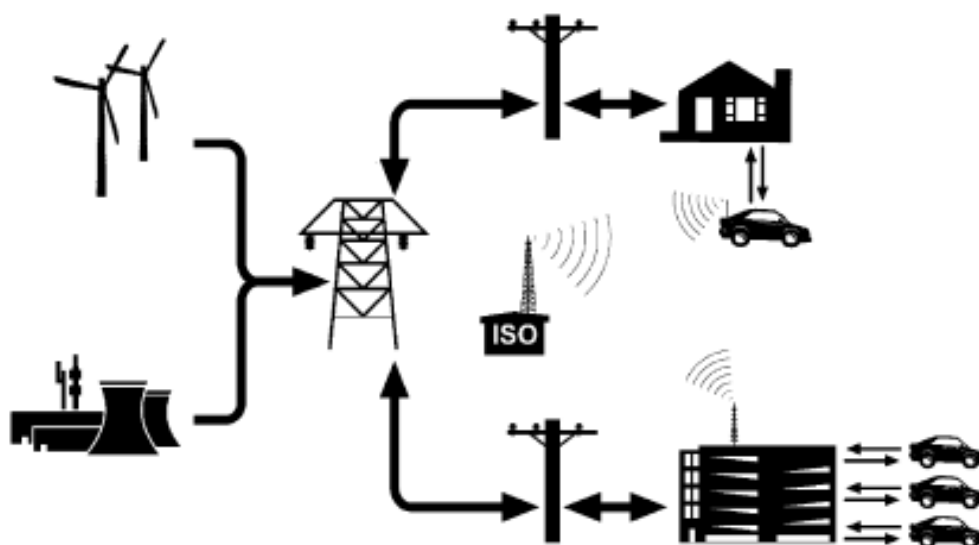


Figura 2.8 - Esquema de implementação do vehicle to grid [76].

Capítulo 3

Especificações Técnicas

3.1. Definição da topologia geral

Para popularização dos VE e PHEV, uma estação de carga de baterias deve fornecer todas as condições que permitam a respectiva recarga no menor espaço de tempo possível. Para além da funcionalidade anterior, no presente capítulo apresenta-se o conceito geral de uma estação de carregamento de baterias também com funcionalidade de *vehicle to grid*. Aqui vão ser utilizados fluxogramas constituídos por blocos, cuja legenda se encontra no anexo B.

Independentemente do local ou possíveis utilizadores, numa formulação geral, uma estação de carregamento deve ser constituída pelos módulos representados na Figura 3.1.

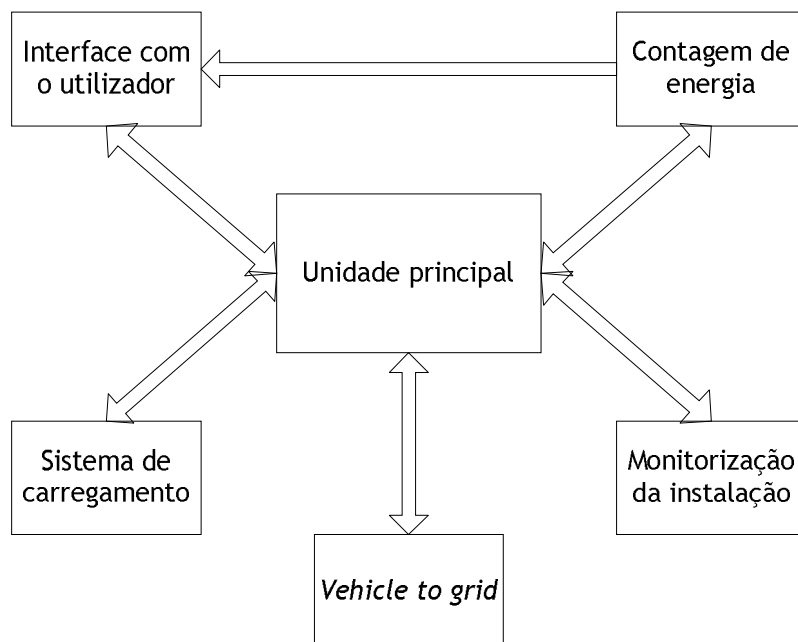


Figura 3.1 - Modulação geral de uma estação de carregamento.

Em cada um dos módulos da figura anterior estão intrínsecas um conjunto de funcionalidades e equipamentos que permitam atingir os objectivos. A Unidade principal constitui o local onde estão alojadas todas as funções lógicas, aritméticas e de processamento, que por sua vez permitem o controlo e monitorização de todas as outras unidades representadas. Esta unidade é ainda a responsável pela coordenação e interacção de todas as outras.

Nos tópicos seguintes apresenta-se uma descrição de todos os outros módulos, com detalhe das funções, métodos e estruturas lógicas. Em alguns casos, também são referidas algumas características fundamentais dos equipamentos importantes.

3.1.1. Interface com o utilizador

Esta unidade é responsável por toda a interacção com o utilizador. Aqui deverão existir um ou vários ecrãs responsáveis por informar o estado de todo o processo. É também necessário um *hardware* com características (ex: teclado, entrada de cartão, memória externa, ecrã *touchscreen*, etc.) que permita ao utilizador cumprir determinadas exigências e/ou tomar certas opções.

Genericamente, daqui resulta a interacção com o consumidor, sendo realizadas funções como transmissão de toda a informação, pagamento, autenticação e introdução de outros dados que possam ser exigidos. A estação de carregamento terá que ser activada pelo próprio utilizador. Portanto a referida interacção poderá ser representada pelo fluxograma presente na Figura 3.2.

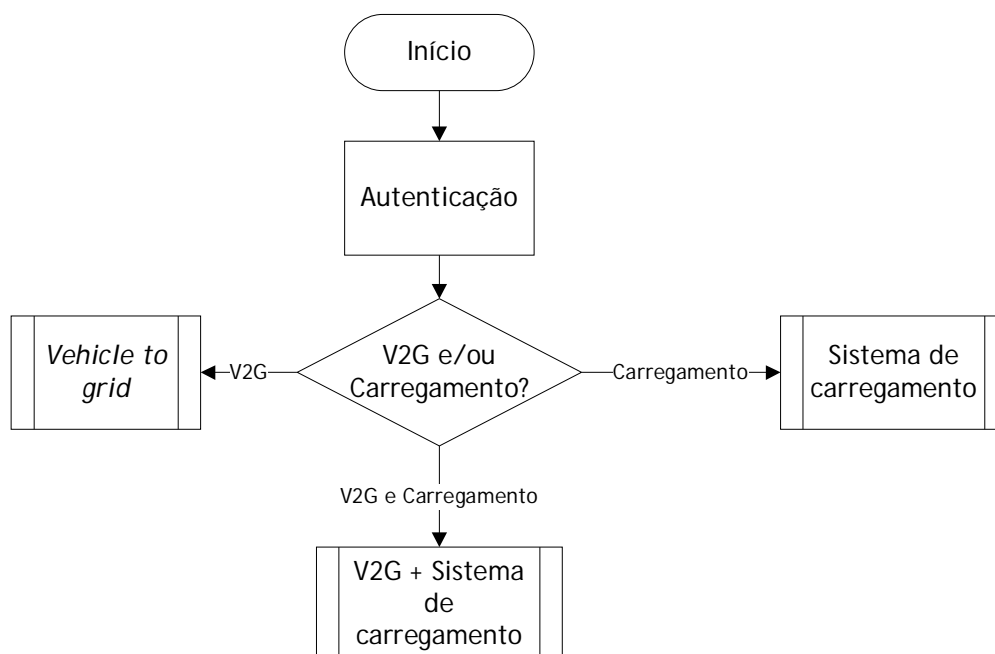


Figura 3.2 - Estrutura do início do processo de interacção utilizador-estação.

Na Figura 3.2 pode observar-se que o fluxograma começa pelo bloco Início. Aqui pretende-se representar acto de dar a ordem de activação da estação. Pois, caso ninguém interaja com a estação ou terminal, este sistema deve encontrar-se em modo *stand-by*. Após

este passo, inicia-se o processo Autenticação. Aqui o utilizador é impelido a proceder ao método de autenticação que pode consistir na inserção de um cartão apropriado que possua crédito para proceder a um eventual carregamento ou mesmo para receber fundos monetários, caso se esteja perante uma situação de V2G. Contudo, pode ainda utilizar-se uma tecnologia de autenticação automática como o RFID (*Radio-Frequency IDentification*). Esta é uma metodologia muitas vezes usada em processos similares por constituir uma solução fácil, segura e com a grande vantagem de ser uma tecnologia sem-fios [77]. A imposição da autenticação na fase inicial traduz-se numa maior simplicidade do sistema, conferindo uma maior segurança contra possíveis tentativas de fraude. Assim já não são necessários sistemas de encravamento para impedir o utilizador de desconectar o veículo, sem este ter efectuado o pagamento.

Sendo aprovado o processo anterior, o utilizador é remetido ao patamar seguinte da estrutura representada. Assim o consumidor terá que proceder à escolha de uma das três modalidades representadas. Na escolha da modalidade *vehicle to grid*, o consumidor indica que só pretende que o veículo fique ligado esperando um pedido de energia da rede. Outras características desta modalidade podem encontrar-se em 3.1.5. A opção Sistema de carregamento (3.1.4), contempla a escolha de um processo de carga, recusando o V2G. No modo V2G+Sistema de carregamento, o utilizador deve escolhe-lo quando pretender carregar o veículo mas autorizando o V2G quando for solicitado ou para usufruir de regimes tarifários diferentes. Por exemplo, no caso da tarifa bi-horária, se tiver o carro parado num intervalo de tempo que o permita, carregar no vazio e vender nas pontas.

3.1.2. Contagem de energia

O módulo de contagem de energia pretende representar um sistema de contagem de energia bidireccional. Ou seja, um sistema que por um lado conte toda a energia dispendida pelo processo de carga, mas também que seja capaz de contar a energia fornecida na aplicação de V2G.

Em situações de vários terminais podem utilizar-se sistemas de contabilização independente, por terminal, e um outro para contabilização de energia da própria estação. Estes dados são necessários para os sistemas de pagamento e controlo da própria estação.

O sistema a adoptar deverá corresponder a uma aplicação de *smart metering* ou contagem inteligente. Os contadores com esta tecnologia possuem a capacidade de comunicação com o operador da rede eléctrica, permitindo assim, remotamente, a programação ou configuração da unidade de contagem [78]. Portanto, será possível reconhecer automaticamente mudanças de regime horário e respectiva mudança de tarifa ou, por exemplo, programar o contador para um determinado limite de energia para enviar alertas à unidade de controlo de todo o sistema - Unidade principal. As vantagens inerentes ao *smart metering* passam também pelo facto do consumidor poder observar o histórico dos consumos (dias, semanas ou outros períodos) [78], podendo assim optar pela utilização dos equipamentos eléctricos em regimes de vazio ou alterar o regime tarifário. Um sistema com estas características poderá trazer ganhos económicos ao consumidor e beneficiar o distribuidor. Conclui-se então que no âmbito do carregamento de baterias e do V2G, a

adopção desta tecnologia permitirá a inclusão de um sistema inteligente capaz de diferenciar os regimes mais favoráveis e desfavoráveis e assim informar o utilizador.

3.1.3. Monitorização da instalação

Relativamente à unidade de monitorização da instalação, pensa-se ser uma “mais-valia” para um sistema de carga por possibilitar uma constante avaliação da instalação. Este módulo introduz a vantagem de poder utilizar a instalação em segurança, evitando a actuação intempestiva das protecções e optimizando a disponibilidade de potência.

Quanto mais rápido o processo de carregamento, mais elevadas são as magnitudes de corrente implementadas. Portanto, o número de veículos que se podem recarregar simultaneamente é condicionado pela capacidade da instalação, sobretudo em casos onde existam métodos de carga rápida.

Embora a instalação esteja dimensionada para um determinado nível de potência e sob um regime de um limite de potência contratada, não atendendo à taxa de utilização da instalação podem ocorrer situações negativas. Uma dessas situações seria o disparo intempestivo das protecções, devido ao consumo simultâneo de aplicações alheias ao sistema. Com o intuito de evitar o fenómeno anterior pode-se entrar num regime de subutilização da instalação, não utilizando potência disponível. Esta última situação pode provocar atrasos nos processos de carregamento em espera, o que acarreta muitos inconvenientes.

Com o objectivo de optimizar a utilização da potência disponível, convém então delinear uma estratégia de monitorização da instalação através de um sistema de monitorização que pode ser representado pela Figura 3.3.

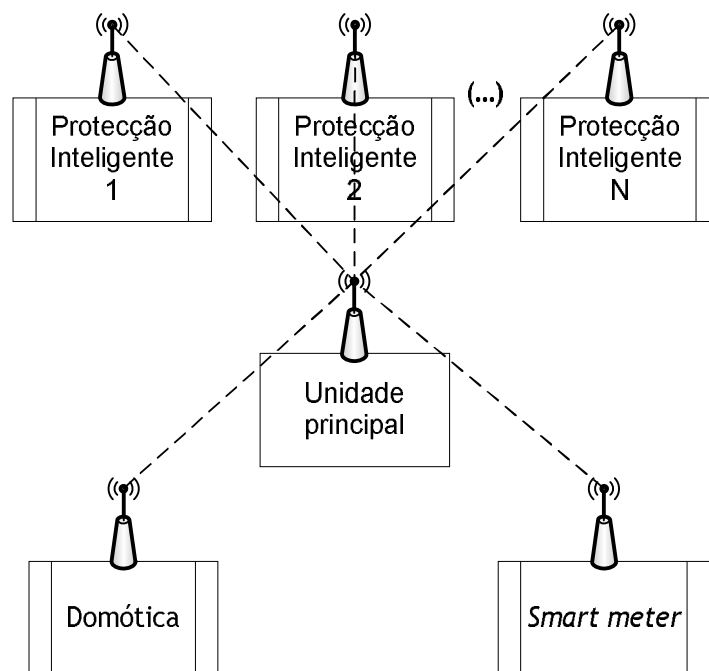


Figura 3.3 - Unidade de monitorização da instalação.

Para se evitarem obras demoradas e dispendiosas na instalação do carregador, como se representa na figura anterior, todo o sistema de comunicação será através de uma tecnologia

sem-fios. Portanto, tanto nas Protecções Inteligentes (PI) como na Unidade principal, o respectivo meio físico deve ser dotado de um protocolo de comunicação com uma tecnologia sem fios. Apesar de existirem vários tipos de comunicações sem fios, hoje em dia, um sistema muito utilizado para espaços de curta distância é o *Wi-Fi*, pelo que constituiria uma boa solução. No entanto, para diminuir as operações de instalação, os terminais deverão ser alimentados por baterias. Este aspecto leva então que também se tenha em consideração uma tecnologia designada por *Zig bee*. Em comparação com outras tecnologias o *Zig Bee* é caracterizado como um dos métodos que menos bateria gasta, baixo custo, seguro e suporta um grande número de nós [79]. A escolha desta exige algum cuidado porque a maioria dos equipamentos estão dimensionados para distâncias até 10 metros, no entanto têm vindo a surgir outros que ultrapassam essa barreira diminuindo as taxas de informação [79]. Todavia, em casos pontuais de longa distância pode existir a necessidade de aplicar um sistema de comunicação via *General Packet Radio Service* (GPRS), pois permitirá a obtenção de melhores resultados. Todas as tecnologias referidas são apenas exemplos, podendo ser utilizadas outras que permitam obter os mesmos objectivos.

Etimologicamente, o conceito de domótica é referido a um caso de habitação automatizada [80]. Genericamente, num sistema com estas características é possível, entre outros, o controlo remoto de sistemas de climatização, iluminação, estores, gás, telefones e comunicações e segurança. Esta concepção de instalação automatizada pode ser estendida a edifícios de comércio e serviços [80]. No caso de existência de uma instalação deste tipo, a Unidade principal deve ser preparada para a interacção com esta tecnologia, conforme se explica em 3.1.3.2.

Para o sistema de monitorização é ainda necessária a interacção com a unidade de contagem. Porém esta só será possível se esta unidade corresponder a um sistema de *smart metering*, devido às capacidades enunciadas em 3.1.2.

O conceito de Protecção Inteligente e o método de implementação são clarificados nas secções seguintes (3.1.3.1 e 3.1.3.2), onde se detalham todos os conteúdos e funcionalidades.

3.1.3.1. Conceito de Protecção Inteligente - PI

Nesta dissertação, as PI numeradas de 1 até um número indefinido, designado por N, e representadas na Figura 3.3, dizem respeito aos pontos que, para além da função de protecção, têm ainda outras funcionalidades que levam a adoptar esta designação. Nas várias situações práticas presentes no capítulo 4, são representados os locais onde deverão ser implementados estes dispositivos.

Com este conceito pretende-se criar um modelo capaz de assegurar um meio fácil, rápido e seguro de medição da taxa de ocupação eléctrica. O conceito aqui apresentado pode ser representado pelo modelo da Figura 3.4.

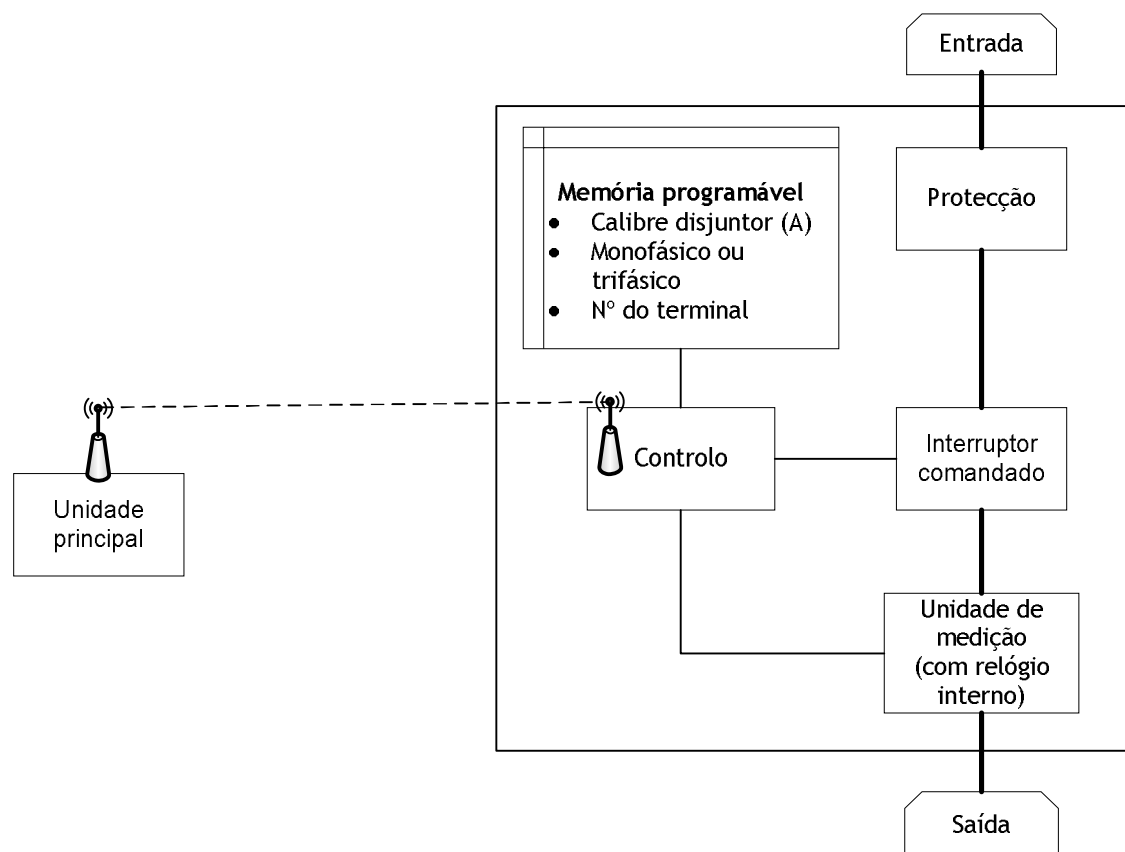


Figura 3.4 - Modelo de constituição de uma Protecção Inteligente.

Com o bloco Protecção pretende-se denotar a existência de uma protecção da instalação contra defeitos e sobrecargas. Em instalações de utilização de baixa tensão, essa protecção será um disjuntor, com um calibre adequado à instalação.

O Interruptor comandado servirá para colocar o terminal de carregamento ligado ou desligado da fonte de alimentação. A ordem de funcionamento deverá ser recebida pelo módulo Controlo e reencaminhada para o interruptor. Essa ordem será emitida pela, já referida, Unidade principal, num caso em que se exija deslastre de carga ou indisponibilidade de potência para ligação de novos terminais.

A Unidade de medição é responsável pela medição periódica da intensidade de corrente por fase. Esta deverá ser dotada de um relógio interno para acoplar ao valor de corrente medido a respectiva unidade de tempo de ocorrência, com o objectivo de permitir uma sincronização entre terminais. Para medir o respectivo valor da corrente eléctrica por fase pode empregar-se o uso de transformadores de corrente. À medida que um transformador de corrente é atravessado por uma determinada corrente, esta é transformada num pequeno sinal [1]. O uso de transdutores específicos pode transformar esse pequeno sinal em dados “legíveis” pelo módulo de Controlo. Para além de um sistema de carregamento, prevê-se a implementação do V2G. Pelo menos no(s) terminal(ais) da estação de carregamento, a Unidade de medição terá que ser bidireccional, para estar apta a medir os valores de corrente para produção ou consumo.

No módulo Memória programável estão alocados os dados identificativos da protecção “inteligente”. Nomeadamente, contém a informação do calibre do disjuntor presente, assim como a informação se a entrada é monofásica ou trifásica. Este componente deverá ter uma

natureza programável, afim do instalador poder atribuir-lhe um número ou outro código identificativo, para que o terminal seja univocamente reconhecido pela Unidade principal. Em certos casos o fabricante pode permitir ainda o acesso a esta memória para alterar o calibre do disjuntor.

O módulo Controlo é responsável pelo controlo e recepção de dados dos módulos anteriores. Porém a este ainda é incumbido a transmissão de todos os dados necessários à Unidade principal. Este deve ter na sua constituição um meio físico que permita estabelecer um protocolo de comunicação sem-fios, como foi referido anteriormente. Contudo, poderá ainda ter uma memória para alocar dados temporários, a fim de os reunir com os da Memória programável, para depois serem emitidos.

Em síntese, pode verificar-se que as diferenças fundamentais de uma PI, em relação a uma protecção normal, é o facto de estas estarem habilitadas a medir valores de corrente em determinados pontos da instalação e de permitirem ligar ou desligar o circuito nesses pontos.

3.1.3.2. Método de funcionamento

Como se pode observar na Figura 3.3, os dados emitidos pelas PI são recebidos e geridos pela Unidade principal. Portanto, após a caracterização das PI, convém clarificar todo o processo de monitorização da instalação, podendo este ser representado pela Figura 3.5.

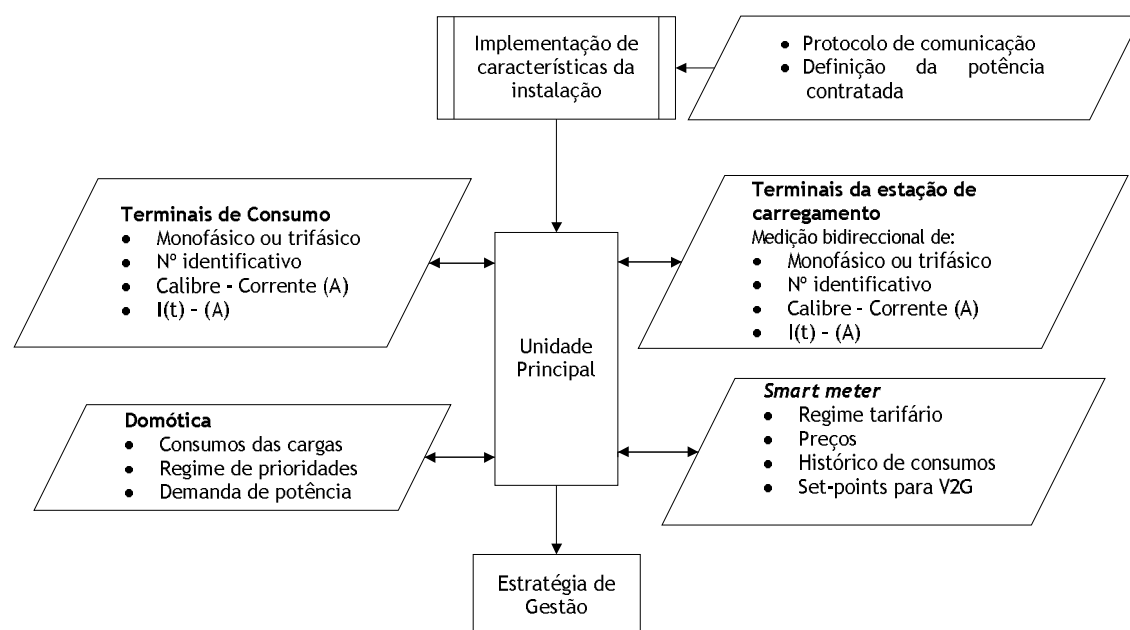


Figura 3.5 - Método de funcionamento do sistema de monitorização.

A Figura 3.5 pretende representar que, para se iniciar a monitorização, todas as PI têm que estar devidamente conectados e sincronizados com a Unidade principal da estação de carregamento. Só assim será possível estabelecer o processo de comunicação referido no tópico anterior. É importante que cada PI esteja univocamente referenciada na Unidade principal, distinguindo o facto de ser monofásica ou trifásica. Contudo, outra informação indispensável é a potência contratada pelo consumidor, pois essa é a potência limite da instalação assegurada pelo aparelho de corte de entrada (ACE). Se no ACE se optar por uma

PI, essa informação não necessita ser pré-programada na estação, pois esta já é responsável por enviar a informação do calibre do respectivo disjuntor. Em todos os casos recomenda-se também a transmissão periódica do calibre da protecção para evitar equívocos, mas esta informação pode apenas ser programada inicialmente. Todo este processo necessitar ser estudado para testar todos os equipamentos de modo a determinar um período óptimo para transmissão das referidas informações.

Com os blocos de dados presentes na Figura 3.5, pretende-se representar quais os dados que estão a ser transmitidos entre cada sistema e a Unidade principal. Contudo a comunicação é elaborada nos dois sentidos pois os dados serão emitidos quando a referida unidade os solicitar.

Relativamente à domótica, a ideia será empregar esta tecnologia para otimizar a disponibilidade de potência. Como já se referiu no capítulo anterior, o carregamento de veículos eléctricos está frequentemente ligado a elevadas potências de pico. Assim, ao controlarem-se as restantes cargas do edifício ou instalação, é possível cumprir o objectivo referido. Para isto ser possível é necessário que instalação automatizada esteja equipada para que seja possível a gestão de todas as cargas existentes. Por exemplo, num caso que exija um carregamento urgente e não exista potência suficiente, o sistema de monitorização vai procurar disponibilizar essa potência deslastrando outras cargas. A forma de deslastre terá em conta uma prioridade estabelecida pelo consumidor. Contudo podem existir cargas que o utilizador escolha não deslastrar, excepto em casos de defeito ou manobra.

Na fase seguinte, procede-se com a habilitação do processo de comunicação entre as PI, a domótica e o sistema de *smart metering* com a Unidade principal. Após todas as comunicações serem detectadas pode então iniciar-se o processo Algoritmo de monitorização. Este tem lugar na Unidade principal e consiste na execução de um determinado programa que implemente um algoritmo que explore as seguintes funcionalidades:

- Sabendo a potência eléctrica contratada que a instalação pode utilizar, monitorizando a corrente de todos os terminais de carregamento e da restante instalação, é possível saber qual a potência de “folga” disponível;
- Através do dado anterior, é possível diagnosticar a disponibilidade de determinado método de carregamento, em função da potência de pico que esse método utiliza;
- Com auxílio das PI é possível elaborar um histórico de valores de corrente da instalação em causa, em determinados períodos de tempo. Esse histórico pode ser organizado por dias e horas e, por exemplo, estabelecer que nos mesmos dias de semana de semanas seguidas existem variações semelhantes. Ou seja, com esse registo seria possível implementar uma metodologia de previsão dinâmica que seria útil para avaliar o número de cargas simultâneas com carácter urgente que é possível albergar;
- A utilização de um sistema de *smart metering* permite o reconhecimento de diferentes regimes tarifários. Esta utilidade será vital para estações de carregamento públicas, para distinguir preços e até mesmo a disponibilidade de potência. Nas habitações também terá grande importância, podendo-se adoptar um método que, apesar de o carro estar conectado, o carregamento só se iniciar

quando entrar o regime de vazio, por exemplo no caso da tarifa bi-horária. A partir deste sistema, a rede poderá emitir *set points* que indiquem um pedido de fornecimento de energia através da modalidade do V2G;

- A domótica será útil para se conseguir implementar um sistema capaz de controlar as restantes cargas da instalação eléctrica. Este sistema seria eficaz para um caso onde existe a necessidade de carregamento urgente e potência disponível não é suficiente. Como solução, o sistema inicia o deslastre automático de cargas até existir a potência necessária. Então, para isto ser possível, deve existir uma lista de prioridade de cargas. Ou seja, uma lista onde é especificado pelo utilizador a prioridade de deslastre ou a possibilidade ou impossibilidade de desligar determinada carga. Em casos de necessidade, esta tecnologia também será útil para avaliar se o veículo consegue alimentar a restante instalação, através do referido regime de prioridade;

Estabelecidos os protocolos de comunicação descritos pode então criar-se uma estratégia de gestão, com base nas informações disponíveis e objectivos a cumprir para determinada instalação. Assim, a Unidade principal será a responsável pela execução desse algoritmo.

3.1.4. Sistema de carregamento

O módulo descrito por Sistema de carregamento constitui a unidade responsável por todo processo de carga das baterias, nas várias modalidades existentes. Neste ponto descreve-se estrutura da opção Sistema de carregamento, apresentada em 3.1.1.

Para facilitar a utilização, alguns dos sistemas que vão ser utilizados nesta unidade devem possuir a tecnologia *Plug and Play*, devendo então cumprir alguns requisitos típicos [81]. Para poder ser completamente implementada, deve existir uma BIOS (*Basic Input/Output System*) ou outro sistema similar. Esta corresponde a um utilitário que permite detectar os dispositivos e ler a ESCD (*Extended System Configuration Data*) em busca de informações de configuração existentes. A ESCD consiste num arquivo que contém informação sobre os dispositivos a serem detectados. Essencialmente são precisos os elementos anteriores e um sistema operativo que seja compatível ao *Plug and Play*. O sistema operativo completa o processo de configuração iniciado pela BIOS, permite automatizar várias tarefas importantes que teriam de ser executadas manualmente e vai permitir outras funcionalidades como troca de informações.

O processo em estudo pode ser descrito pela estrutura representada na Figura 3.6.

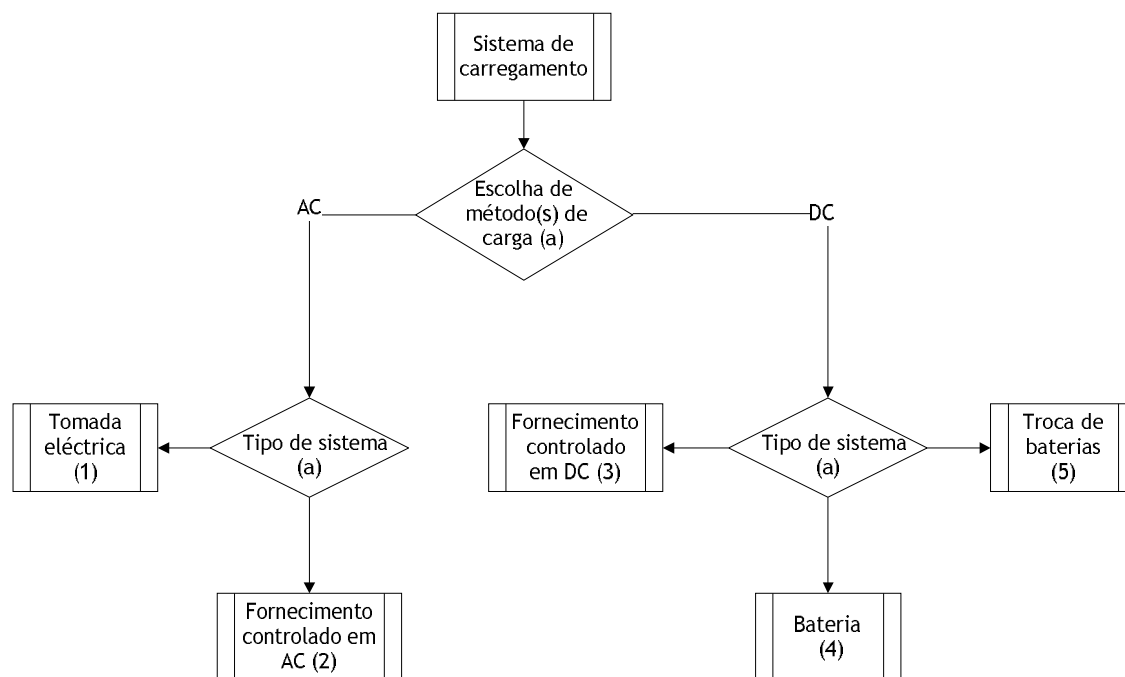


Figura 3.6 - Estrutura do módulo Sistema de carregamento.

Observando a Figura 3.6, pode verificar-se que o utilizador tem que escolher o tipo ou tipos de carregamento que lhe interessam ou que o seu veículo admite. No primeiro grupo de opções, os veículos são alimentados em corrente alternada, onde o carregador do veículo é alimentado por potência da rede fornecida pela estação de carregamento. Nas outras opções, a estação terá que fornecer a alimentação já é feita em corrente contínua, sendo então responsável pela rectificação da energia proveniente da rede. O acto de decisão aqui implícito é regido na Unidade principal e, para referências futuras nesta dissertação é catalogado com (a).

Tendo em conta o levantamento do estado da arte apresentado no capítulo 2, considera-se a existência das cinco possibilidades de carregamento, representadas na Figura 3.6. Com base na tabela A.1, comprova-se que existem veículos capazes de albergar mais que um tipo de carga, entre os quais varia o tempo de carga, potência envolvida e método de conexão. Este facto pode traduzir-se numa diferença de preços que, aliado à diferença de tempo de carregamento, pode levar a que o utilizador tenha que ponderar qual o regime que prefere.

Assim o bloco de decisão (a) deve possibilitar a escolha de mais que um método de carga. Após um conjunto de escolhas, sequencialmente, deve ser pedido ao utilizador que conecte o veículo ou bateria nos respectivos terminais, um de cada vez, para a estação de carregamento proceder a uma análise de todas as condições referidas. Por fim, deve mostrar uma comparação entre todos os métodos escolhidos, focando os seguintes aspectos: tempo de carga, regimes disponíveis (“normal” ou “urgente”), preços por kWh ou total estimado e disponibilidade do método.

Independentemente de o veículo carregar numa tomada monofásica ou trifásica, devem ser apresentadas ao utilizador as alternativas “normal” ou “urgente”. Esta última eleição deve ter em conta que o regime “normal” caracteriza-se pelos seguintes aspectos:

- Em caso de uma diminuição brusca da potência disponível ou alguma outra situação que obrigue ao deslastre carga da estação, um terminal nestas condições será um dos primeiros a ser desligado;
- Tendo um contador cuja tarifa varia em função do período horário, o veículo não iniciará o processo de carregamento se estiver à distância de um pré-estabelecido período de tempo do regime económico (período de horas de vazio). Por exemplo, se esse período for de 15 minutos, isso significa que se faltar 15 ou menos minutos para a entrar em vigor o período de vazio, a alimentação só iniciará quando já se estiver no regime de vazio. Este caso terá aplicação somente em casos residenciais ou outras situações que depreendem que o consumidor não necessitará do carro durante um grande período de tempo;
- Tendo em conta os factos anteriores, o preço por kWh a pagar nesta modalidade será menor do que no “urgente”.

Escolhendo o regime “urgente”, o utilizador terá que compreender que o seu processo estará sob as seguintes condições:

- A estação de carga compromete-se a cumprir a alimentação do carregador do veículo, sem ter em conta aspectos económicos, como regimes tarifários;
- Para todos os efeitos, um veículo sob este regime é considerado como carga prioritária em situação de falha. Porém, se existir uma falha que afecte toda a alimentação da estação, não havendo nenhuma unidade de produção directamente acoplada, até em regime “urgente” se interromperá a alimentação;
- Assumindo um papel de alimentação privilegiada, o preço será mais elevado, como já se mencionou;
- Este regime pode ter uma menor disponibilidade que o anterior. Uma garantia de não interrupção de serviço pode não ser suportável, em situações onde a potência de “folga” não seja superior a um dado limite pré-estabelecido. Ou seja, quando se prevê que a potência disponível durante o processo de carga não seja suficiente para assegurar as condições contratuais, tem que se colocar o modo “urgente” fora de serviço.

Na figura anterior, os possíveis métodos de carga estão numerados de (1) a (5) e encontram-se descritos nos patamares seguintes, respectivamente.

3.1.4.1. Tomada eléctrica

A escolha consiste num tipo de carregamento que se resume à alimentação do veículo directamente a partir de uma tomada eléctrica. No entanto, considera-se que dois cenários diferentes podem surgir. O primeiro constitui um processo mais simples e a sua estrutura pode ser representada pelo fluxograma da Figura 3.7.

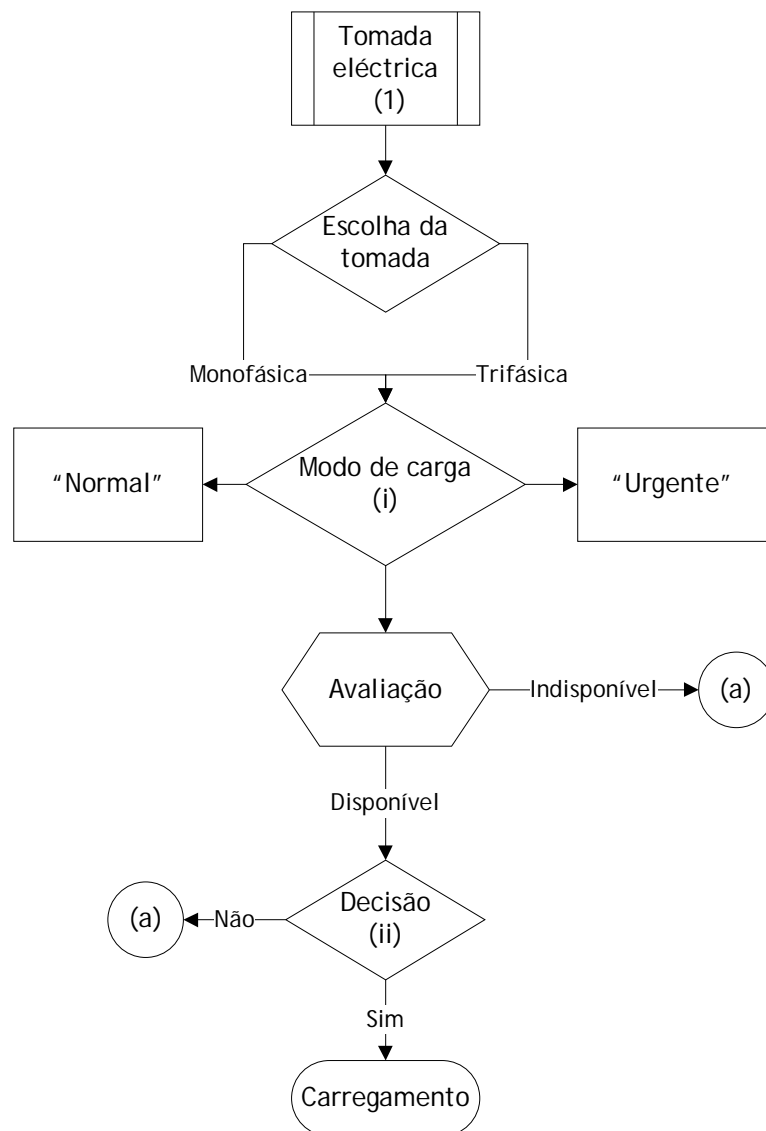


Figura 3.7 - Estrutura do processo Tomada eléctrica.

Como se pode constatar observando a Figura 3.7, após a escolha do processo Tomada eléctrica, o consumidor terá que optar entre uma tomada monofásica ou trifásica. Existem veículos, como o *Toyota Prius PHEV*, tabela A.1, que apenas possui a opção de carga de ligação a uma tomada monofásica. Porém, tomando como exemplo o *Lighting GT* presente também na tabela A.1, comprova-se a existência de veículos que possuem os dois tipos de ligações. Naturalmente, a tomada trifásica pode envolver uma potência de carga maior, sendo o veículo carregado mais rapidamente. Partindo deste pressuposto, a opção pela tomada monofásica será um processo mais demorado, mas é possível que exista uma situação onde a potência disponível na estação de carregamento não seja suficiente para responder à potência no modo trifásico.

Como explicado em 3.1.4, no bloco (i) da Figura 3.7 tem lugar a escolha da prioridade da carga. Ou seja, o consumidor terá que escolher o regime "normal" ou "urgente". Tendo em conta esta escolha e o tipo de tomada (monofásica ou trifásica), em seguida, inicia-se o teste Avaliação. Este corresponde à avaliação da disponibilidade da potência envolvida conforme as escolhas anteriores. As tomadas estarão dimensionadas para uma determinada potência máxima, principalmente, ao nível da secção do cabo e calibre da protecção. Então, a estação

vai avaliar a disponibilidade de uma tomada tendo em conta a sua potência máxima. Ou seja, as tomadas só estarão disponíveis se a estação assumir que consegue alimentar a potência máxima para o qual estão dimensionadas

No bloco de decisão (ii) verifica-se a escolha do utilizador. No caso de ainda se estar na fase de pré-seleção retorna-se a (a), onde para além das escolhas também se efectua a comparação entre métodos para mostrar ao utilizador. Quando a escolha já for definitiva, inicia-se o Carregamento.

Quando o utilizador ordenar o início de Carregamento, a estação será apenas responsável pelo fornecimento de energia à bateria, sendo o próprio sistema interno do BMS, do veículo ou outra estação, responsável por todo processo de controlo e monitorização da bateria e respectivo carregamento.

Como a estação de carregamento não tem acesso ao sistema BMS do veículo, a estrutura apresentada não permite que o utilizador tenha informações acerca do processo de carga, informações da bateria ou qualquer estimação de preço total. Contudo a autenticação do utilizador deverá fornecer pelo menos uma estimação de tempo de carga, senão será difícil prever a disponibilidade de um regime “urgente” numa situação deste tipo. Face ao problema anterior, como opção ao modelo anterior, pode optar-se por implementar um modelo mais complexo e consequentemente mais caro, mas com a vantagem de ser mais completo e funcional. Este modelo é representado pela estrutura presente na Figura 3.8.

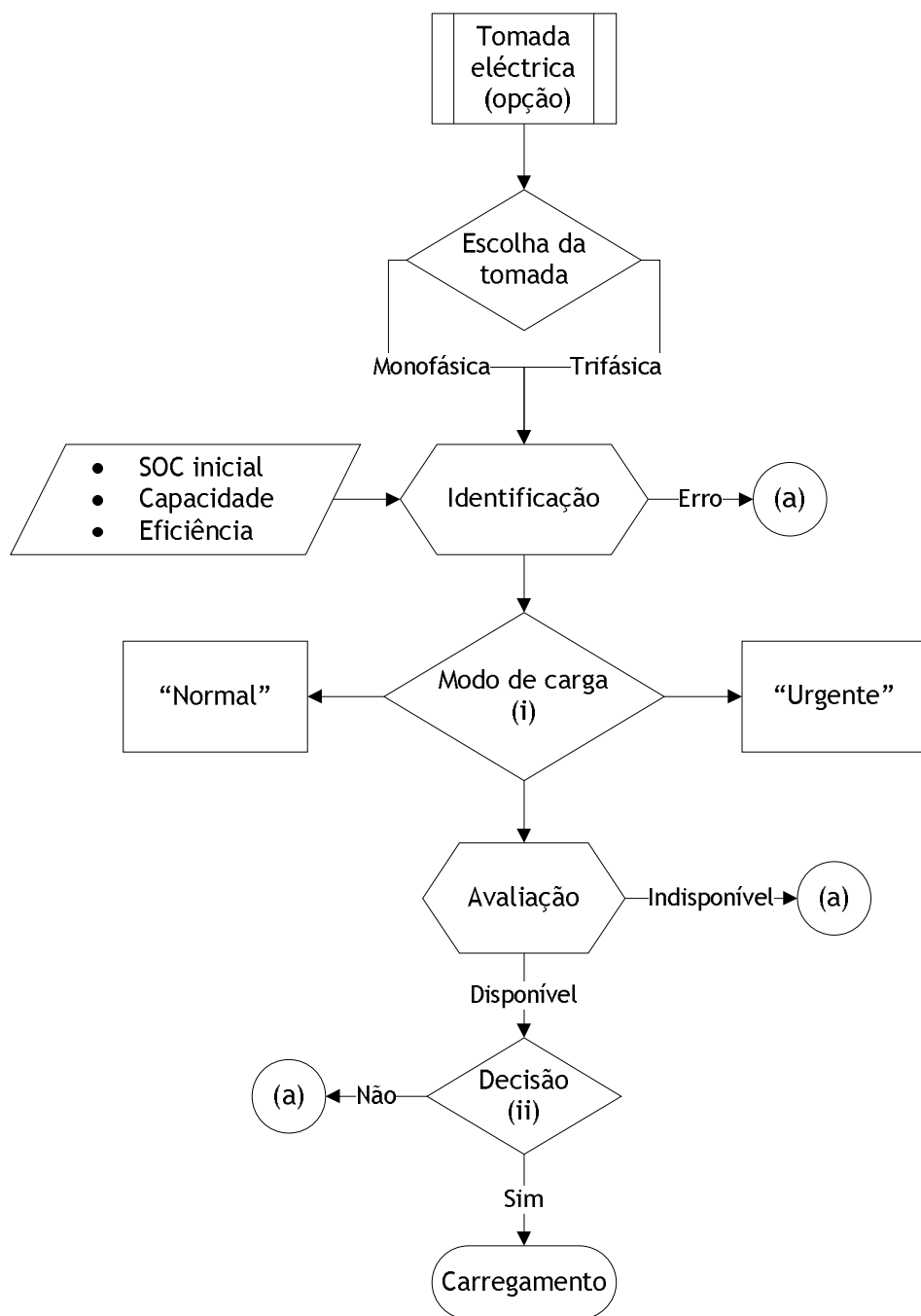


Figura 3.8 - Opção funcional para o processo Tomada.

Esta solução assenta nos mesmos pressupostos que a anterior, havendo apenas a adição de um módulo Identificação, que fará uma grande diferença. Esta solução pressupõe que o utilizador tenha um sistema de identificação externo (ex: cartão ligado com ligado com o meio de Autenticação já referido) que permita indicar a corrente máxima de carga, por fase, e tensão (monofásica ou trifásica) e o tempo de carga estimado de modo a permitir uma avaliação da potência disponível. Esta funcionalidade permite aumentar a eficiência fase ao caso anterior, no que diz respeito à determinação da disponibilidade de terminais. Anteriormente, se a estação considera-se que não era capaz de alimentar a potência máxima do terminal colocava-lo fora de serviço. Contudo, podem existir veículos cuja alimentação exija uma potência consideravelmente menor e que permita à estação suporta-la. Logo, uma

adaptação destas características à estrutura anterior poderá adicionar a vantagem de uma maior fiabilidade na gestão de todo o sistema.

Informações directamente relacionadas com a bateria, como o SOC e o SOH não serão possíveis de apresentar, já que não existe acesso a nenhuma unidade que permita aceder a esses dados. Contudo, o sistema de identificação do veículo pode fornecer ainda informação do estado inicial da bateria, que teria que ser guardada na memória anteriormente através do BMS do veículo, como se detalhou em 2.5. Ou por exemplo, o tempo estimado de carga, de modo a informar o tempo que restante para o estado de carga completa e/ou outros conhecidos. Outra informação poderia ser a capacidade da bateria, considerada uma medida aproximada, já que esta vai perdendo capacidade à medida que vai sendo utilizada, como se referiu em 2.5.1. Estes últimos dados são considerados importantes na óptica do utilizador, pois através destes, a estação deve ser capaz de calcular uma estimativa de evolução do SOC, à medida que vai contando a energia fornecida à bateria, adoptando uma eficiência padrão, caso não seja fornecido um valor para esta grandeza.

3.1.4.2. Fornecimento controlado em corrente alternada (AC)

Este método de carregamento corresponde às situações onde a estação de carregamento é responsável apenas pelo fornecimento de energia eléctrica, em corrente alternada. Logo, este facto pressupõe que uma entidade exterior à estação de carregamento é a responsável por todo processo de controlo de carga. Como foi referido no capítulo 2, esta situação pode encontrar-se em veículos onde o respectivo carregador interno, associado ao sistema BMS, constituem os responsáveis por todo processo de carregamento. Porém existem ainda estações de carregamento “dedicadas” responsáveis pela carga, mas que necessitam de uma fonte de alimentação exterior. Assim este caso também se encaixa nos padrões deste método.

A estrutura de um método com as características do referido nesta secção, pode ser representado pela Figura 3.9.

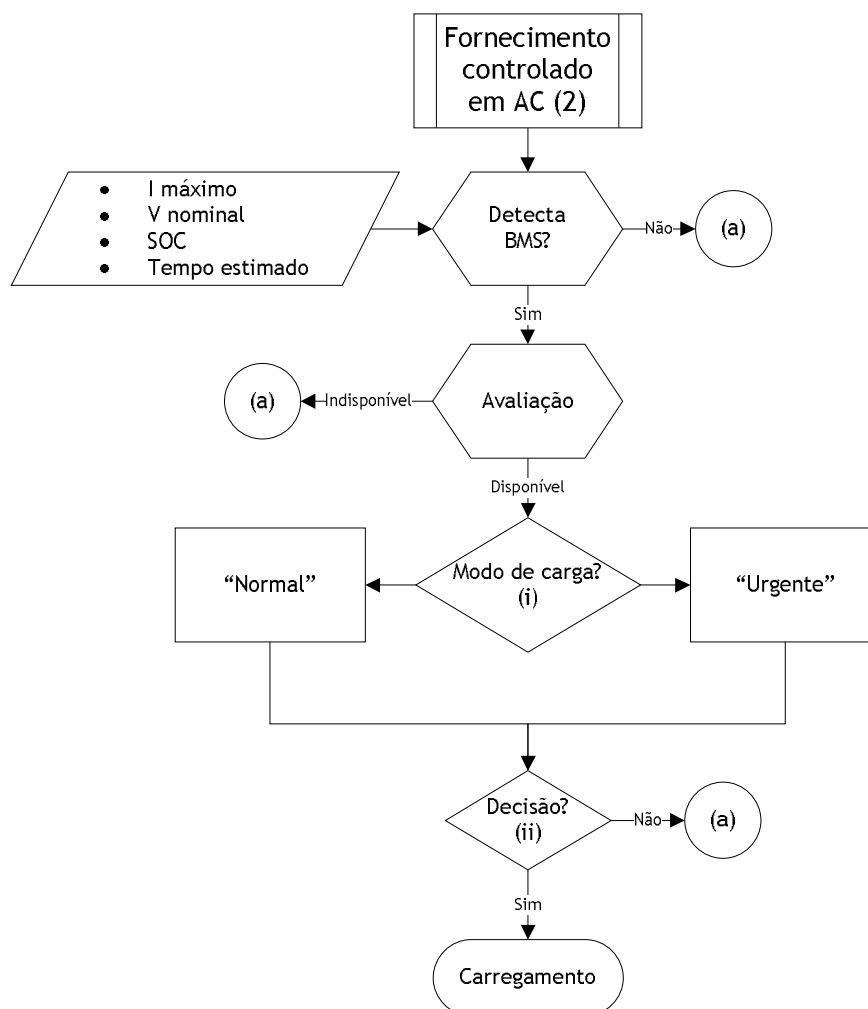


Figura 3.9 - Estrutura do processo Fornecimento controlado em AC.

Após a entrada neste processo, durante um pré-determinado tempo deve ser aguardada a conexão física do veículo ao carregador. Como se representa na Figura 3.9, na possibilidade de existir um sistema BMS a sua detecção deve ser automática através da tecnologia *Plug and Play*. Após aguardar o período de tempo referido, não existindo erros na detecção, o BMS deve sincronizado de modo a fornecer as informações necessárias ao sistema de alimentação. Em caso de erro, o processo deve ser remetido novamente ao patamar (a), para se proceder à escolha de outro método de carga.

Uma sincronização correcta do BMS do veículo à estação compreende a detecção das grandezas indispensáveis ao estabelecimento do processo de carga. As grandezas indispensáveis são corrente máxima e a tensão nominal que o processo de carga irá exigir. O tempo de carga estimado também é importante para avaliar o tempo que o terminal estará a necessitar de energia eléctrica. Só com estes dados é possível fazer uma avaliação da disponibilidade da potência máxima exigida pelo processo, como se representa no módulo Avaliação da Figura 3.9.

Na pretensão de dispor um maior nível de qualidade e informação ao utilizador, o BMS deve fornecer uma informação do SOC inicial da bateria e, se possível, a sua estimação instantânea. Caso o BMS utilize uma técnica mais convencional, como por exemplo a SOCV para determinação do SOC, apresentado em 2.5.1.1, não é possível ter uma medida instantânea. No entanto, como referido em 2.5.1.4, existem topologias de BMS que utilizam

modelos empíricos, onde é possível obter uma medida instantânea de SOC. Como facilmente se compreende, esta informação é importante para o utilizador, pois permite-lhe ter uma percepção real do processo. Outra informação importante para o cliente seria uma estimação de tempo para o processo de carga. Porém, como na maioria dos casos, o tempo de carga até cerca de 80% é muito menor que os restante 20%. Logo, se existir a possibilidade de fornecer uma informação do tempo é conveniente fornecer a informação até vários níveis de carga.

Após submetido ao módulo Avaliação, a estrutura do método tem características semelhantes a 3.1.4.1, nomeadamente passando pelos módulos de decisão (i) e (ii), cumprindo os parâmetros referido no ponto anterior.

Neste caso, a conexão para o carregamento distingue-se do anterior, apenas pelo facto de aqui o BMS do veículo estar acessível à estação. À semelhança do processo Tomada eléctrica, a estação de carregamento apenas fornece a energia necessária ao processo, já que o BMS encarregar-se-á de todas as operações de controlo e monitorização do fornecimento de energia e da bateria.

3.1.4.3. Fornecimento controlado em corrente contínua (DC)

À semelhança da anterior, esta solução compreende também a existência de um BMS. Assim a estrutura proposta, para este caso, será também igual ao apresentado em 3.1.4.2. A principal diferença destas duas situações reside no facto de que na antecedente a alimentação ser efectuada em corrente alternada (AC) e agora em corrente contínua. Devido a este facto, convém assinalar outras diferenças presentes.

No módulo Avaliação, para além dos princípios já enunciados, neste caso será necessário avaliar a os requisitos do rectificador responsável por efectuar a conversão AC/DC. Portanto, será necessário avaliar se a tensão e corrente máxima que o BMS exige estarão dentro dos limites admissíveis pelo rectificador existente na estação de carregamento.

3.1.4.4. Bateria

Este caso pressupõe que o consumidor possui um sistema onde o terminal de carga da estação é directamente acoplado à bateria, não existindo nenhum sistema de controlo no próprio veículo ou exterior. Partindo deste princípio, é necessário identificar os tipos que possam surgir e fornecer toda a informação necessária. Através de todo o estudo descrito no capítulo 2 apurou-se a solução representada na Figura 3.10.

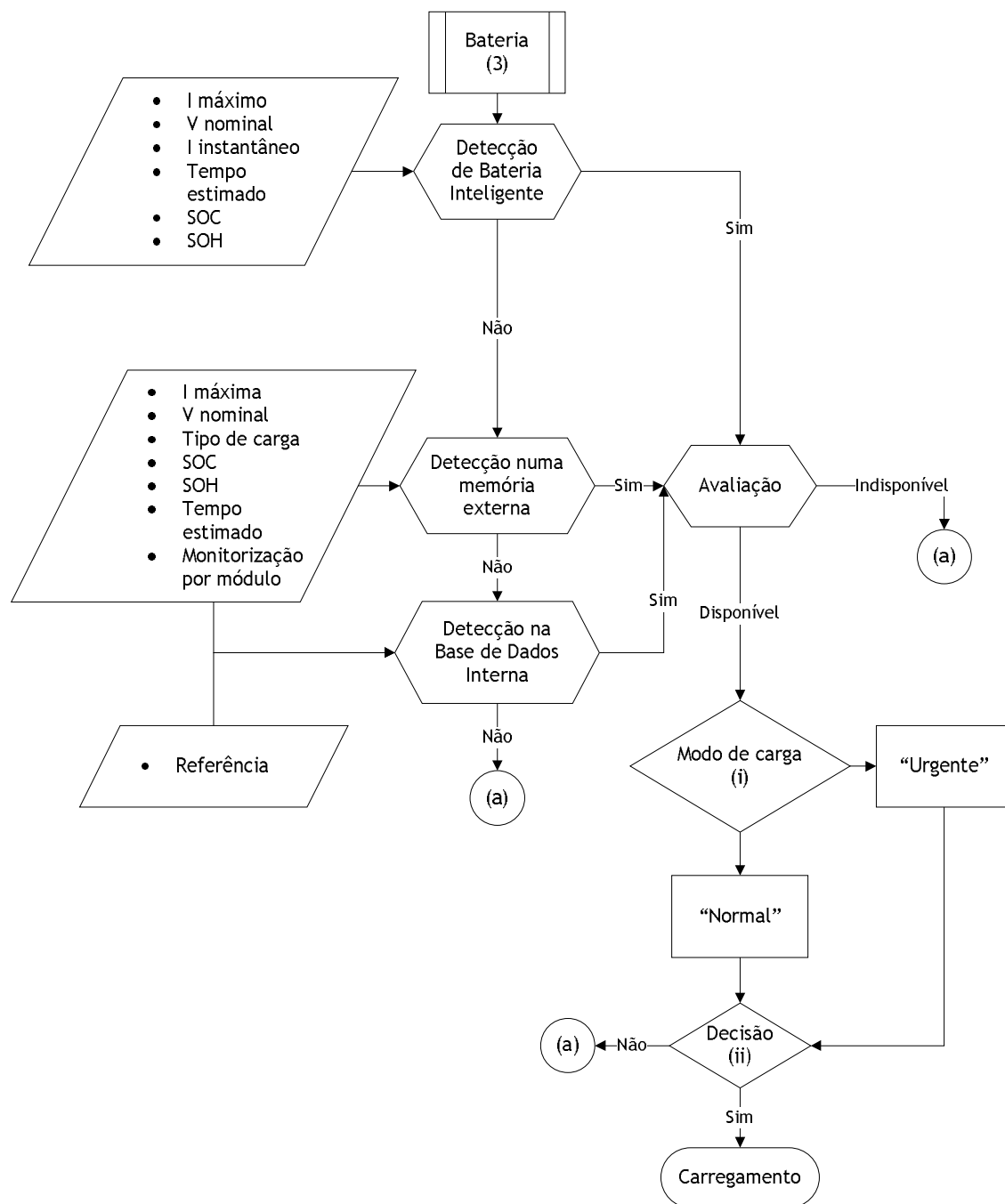


Figura 3.10 - Estrutura do processo Bateria.

Todos os sistemas representados na Figura 3.10 têm em comum o facto da bateria do veículo ser directamente alimentada pela estação de carregamento, em corrente contínua. Como se pode observar, para fornecimento dos dados característicos da bateria à estação podem surgir: Baterias inteligentes e baterias que implicam a existência de um conjunto de informações que podem ser acessíveis através de uma Base de dados interna ou uma Memória externa.

A estrutura apresentada inicia-se com um teste que consiste na Detecção de bateria inteligente. Este teste é ultrapassado com sucesso se a estação de carregamento conseguir detectar um conjunto de grandezas de grande importância. Inicialmente, a estação de carregamento tem que ter acesso à gama de tensão da bateria e à corrente máxima, por

terem grande importância para o processo Avaliação, referido mais adiante. O processo de detecção tem ainda que permitir certificar que a estação recebe a informação da corrente instantânea necessária à carga. Este aspecto é fundamental para assegurar que a bateria inteligente seja a responsável por todo o processo de carga e gestão da bateria. Como está descrito no 2.5.5, as baterias inteligentes têm capacidade para conduzir totalmente o processo de carregamento, implementando um algoritmo de carregamento pré-determinado. Algumas topologias permitem ainda alterar o algoritmo de carregamento em função de alterações dos parâmetros da bateria, nomeadamente em função do seu SOH. À semelhança do que foi descrito em 3.1.4.2, uma informação do SOC inicial e instantâneo, tempo estimado de carga e uma medida de qualidade SOH podem constituir informações importantes para o utilizador, nomeadamente para a decisão do método de carga. O SOC está ligado à previsão do tempo de carga, que é uma informação importante para o processo Avaliação. Tendo em conta as funcionalidades anteriores, considera-se que esta solução é preferencial face às seguintes, daí este teste estar disposto em primeiro lugar.

Quando não é detectada uma Bateria inteligente, procede-se ao teste seguinte que consiste na detecção dos dados necessários numa Memória externa. A Memória externa para além facultar uma maior abrangência de baterias, tem ainda a vantagem de permitir uma actualização dos dados em função do estado da bateria. Por exemplo, o utilizador pode aceder a um carregador “dedicado” ou até mesmo no próprio veículo, onde exista uma tecnologia semelhante à potencialidade de uma bateria inteligente. Essa potencialidade seria o facto de se adaptar o algoritmo de carga ou até mesmo actualizar a capacidade real ou outros dados característicos da bateria e guardar todos esses valores na memória externa.

Observando a Figura 3.10 pode comprovar-se que, no caso do teste anterior falhar, toda a informação necessária é procurada numa Base de dados interna, através de uma referência única para cada modelo de bateria.

Estes dois últimos casos têm em comum o facto de ser a estação a responsável pela monitorização da bateria e controlo do carregamento. Independentemente do tipo de memória, deverão então ser fornecidas as seguintes informações:

- Corrente eléctrica máxima;
- Gama de tensão nominal. À semelhança da grandeza anterior, a tensão nominal é imprescindível para a avaliação da disponibilidade do terminal de carregamento. A tensão aos terminais de uma bateria varia ligeiramente com o SOC e até mesmo com o SOH. Por isso também deve ser indicado a gama dessa variação de tensão;
- Tipo de carregamento. Existindo uma multiplicidade de métodos de carga, onde alguns os mais utilizados foram descritos em 2.4, é indispensável saber o tipo de carregamento. Através da análise efectuada no capítulo 2, pode concluir-se que a identificação da modalidade de carregamento só será possível através da detecção de grandezas como corrente instantânea, respectivas variações de tensão e temperatura ou frequências de impulsos de corrente, dependendo do método de carga. Algumas baterias não permitem o acesso à sua temperatura interna, facto este que pode ser perigoso na monitorização do carregamento da bateria, já que a entrada em sobrecarga de uma bateria está intimamente ligada à evolução da sua temperatura interna. Para ultrapassar este facto, a taxa máxima de evolução da tensão e seu valor máximo devem ser rigorosamente

estudados e assegurados pelo fabricante de modo a evitar que se danifique a bateria;

- SOC;
- SOH. Uma metodologia de SOH só será uma medida com grande importância para a estação de carregamento, se por exemplo na base de dados interna existirem diferentes opções de métodos de carga em função desta grandeza. Mas para obtenção de medidas de SOH terá que se implementar alguma das formas referidas em 2.5.2, devendo existir condições para tal. Em relação ao ponto de vista do utilizador esta informação pode ter grande utilidade, na medida em que este consegue aperceber-se do estado da bateria;
- Tempo estimado. O tempo estimado de carga é uma informação importante para a gestão e avaliação da estação;
- Monitorização por módulo da bateria. Como referido em 2.5.3, à medida que se aproxima do estado de bateria carregada, aumenta-se o risco de sobrecarga em determinados módulos da bateria. Então uma das formas de evitar este último aspecto reside em adoptar processo de equalização de carga. Este só poderá ser seguramente efectuado se for possível uma monitorização por módulo da bateria de forma a adoptarem-se procedimentos para testar a diferença de carga entre módulos. Assim, a estação deve ainda receber os valores de tensão e/ou temperatura máxima e respectivas taxas de variação máxima, por módulo. Para proceder ao carregamento de equalização deve ser detectado ainda os valores de corrente a que se devem submeter os módulos a determinada percentagem de SOC. Todavia, uma bateria menos avançada deve pelo menos indicar uma percentagem de SOC a que deve ser submetido o processo de equalização, ou então adoptar uma medida padrão de máximo SOC para a estação de carga impor;

Tendo em conta estes dados, convém sublinhar que o sistema de monitorização da estação de carregamento deve comportar-se como um conjunto de protecções dinâmicas. Logo, se ocorrem casos onde se ultrapassem os valores máximos, estipulados pelo fabricante, da tensão, temperatura ou corrente, o sistema deve imediatamente interromper o serviço.

Após a clarificação do significado de todos os módulos de Detecção, convém referir a função do módulo Avaliação. Tal como nos métodos anteriores, nesta aplicação este módulo tem como função principal a avaliação do sistema face à necessidade de potência e energia especificada. No entanto, como o fornecimento de energia será em DC ainda terá que se avaliar se o rectificador/inversor está disponível para a potência pretendida e está preparado para a tensão nominal da bateria. Em relação à tensão nominal, deve existir sempre uma tolerância percentual que terá que ser avaliada conforme o panorama de baterias existente no mercado.

A partir de Avaliação é indicada a disponibilidade ou indisponibilidade do terminal, seguindo-se a restante estrutura observada na Figura 3.10. O restante processo implica passar pelos módulos de decisão (i) e (ii), cuja topologia está demonstrada em 3.1.4.1.

3.1.4.5. Troca de baterias

A troca de baterias será outra opção que poderá surgir, sobretudo para casos onde o consumidor careça da bateria carregada num curto espaço de tempo. Devido à multiplicidade de sistemas que podem existir, não se entrará em pormenor nos mecanismos de acesso à bateria, localizada no interior do veículo, e correspondente troca. Esta dificuldade prende-se com o facto de os fabricantes não revelarem informações suficientes, nem possuírem uniformidade na construção dos veículos, para se padronizar um método de troca de baterias.

No esquema seguinte apresenta-se um possível esquema lógico de funcionamento:

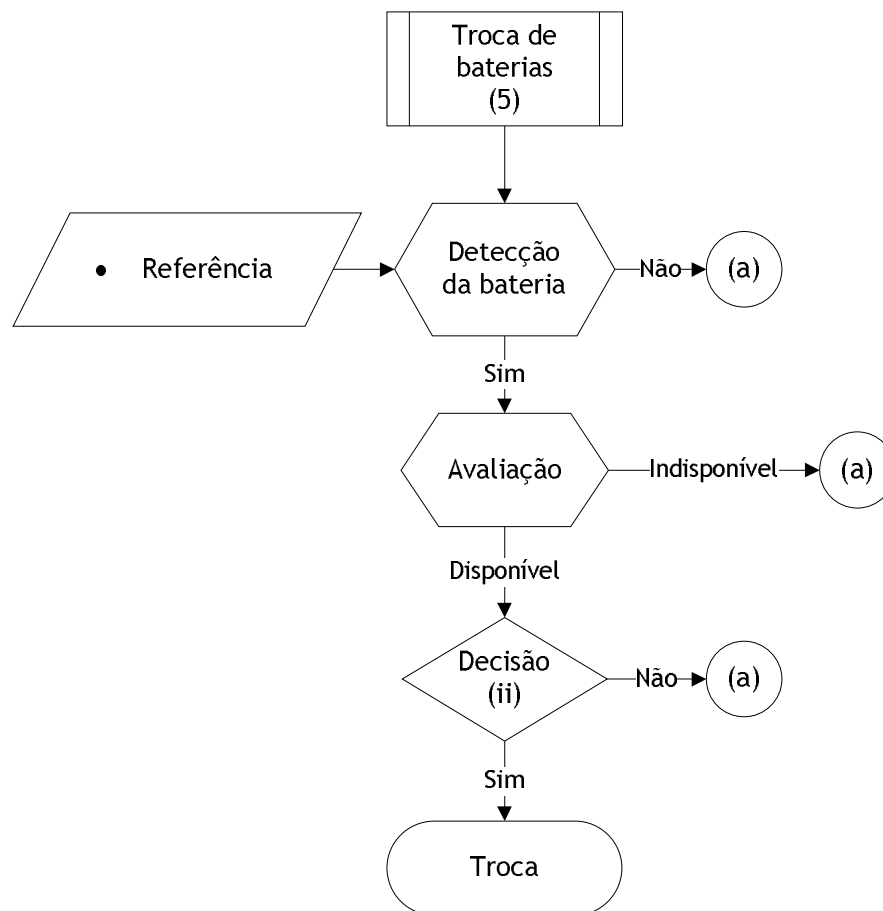


Figura 3.11 - Estrutura do processo Troca de baterias.

Quando se entra neste processo, o utilizador deve fornecer as condições para ultrapassar o teste de Detecção da bateria. Para tal deve existir um sistema universal que permita identificar a bateria, a partir de uma determinada referência. Como já foi referido, para isso pode utilizar-se uma tecnologia sem-fios como o RFID, ou outra solução que garanta boas condições de identificação de um utilizador, nomeadamente modo de pagamento e modelo da sua bateria. Para validar a detecção, a estação terá que reconhecer o modelo de bateria envolvido ou então retornará a (a), onde se pode seleccionar outro método. Logo, deverá existir uma base de dados na estação de carregamento que contenha um conjunto de modelos de baterias, devidamente referenciados. Cada modelo é caracterizado por parâmetros como capacidade, tipo químico, número de módulos, células constituintes e tensão nominal, como se caracterizou no segundo capítulo.

Admitindo o sucesso da detecção, entra-se no teste Avaliação. Aqui terá lugar a avaliação do *stock*, devendo resultar um dos cenários possíveis: a disponibilidade seja imediata ou num presumível tempo de espera ou, no caso de não existir nenhuma bateria com as mesmas características, deve ser indicada a indisponibilidade.

Havendo disponibilidade, mesmo exigindo um período de espera, passa-se para o bloco de decisão (ii). Como já foi referido, aqui o utilizador poderá decidir imediatamente se pretende método ou regressar a (a), onde deverá ser exibida uma comparação entre todos os métodos seleccionados.

Quando for decidido, inicia-se a Troca, executando-se todos os mecanismos necessários que permitam a troca de baterias no mais curto espaço de tempo possível. Relativamente à bateria descarregada, é necessário proceder ao carregamento da mesma, seguindo o seguinte princípio:

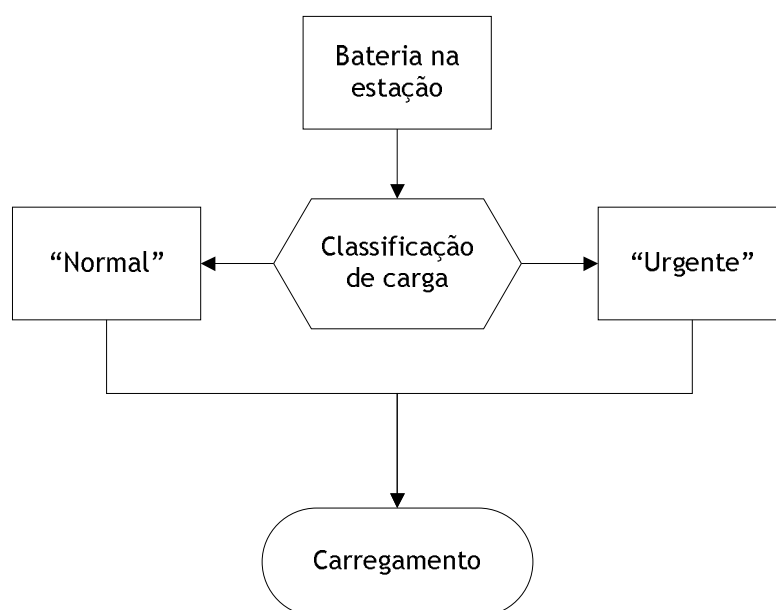


Figura 3.12 - Estratégia de carregamento da bateria reposta na estação de carga.

Consoante o número de baterias ou veículos em espera e frequência de utilização deste serviço, posteriormente, a estação de carga tem que classificar o serviço de carregamento como “normal” ou “urgente”. Em relação ao Carregamento devem-se adoptar todos os procedimentos indicados em 3.1.4.4, para o caso onde todos os dados da bateria estão presentes na Base de dados interna à estação.

3.1.5. *Vehicle to grid* - Ligação à rede

Actualmente, o V2G é uma temática bastante abordada, mas ainda não surgiu qualquer legislação que regule a ligação do veículo à rede eléctrica.

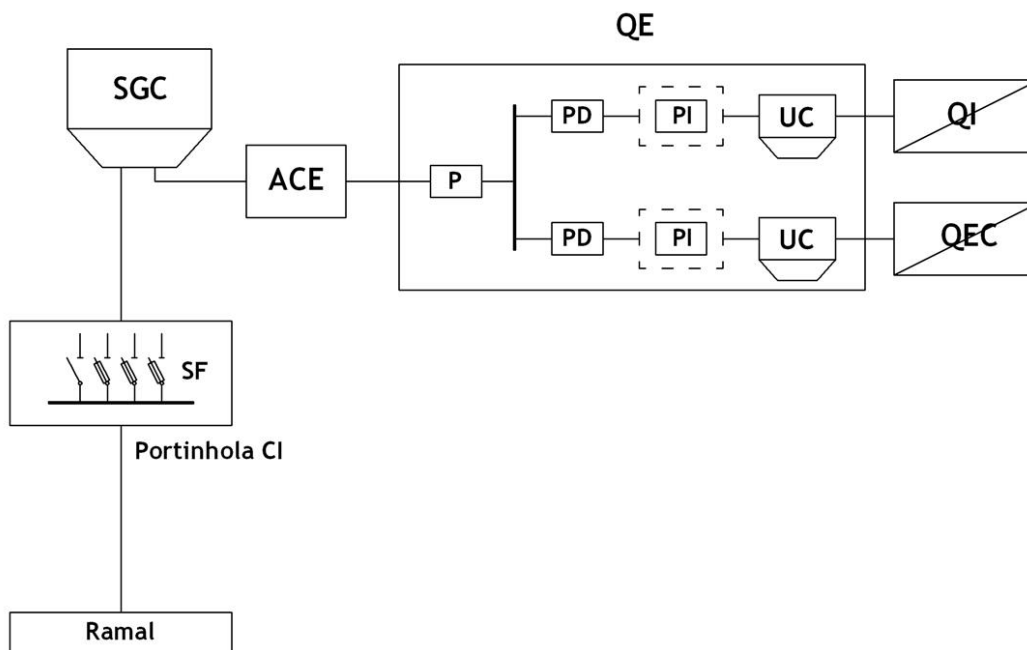
Com o objectivo de se analisarem as condições que poderão surgir para implementar o V2G, é necessário definir o conceito de veículo fornecedor de energia. O VE disponibiliza a energia existente nas suas baterias, que sua vez é proveniente da rede ou, no caso dos PHEV, poderá também advir do motor de combustão cujo funcionamento depende do petróleo. Como a finalidade do V2G passa pela disponibilidade de uma energia “limpa”, este último

caso não será considerado. O conceito geral passa então pela disponibilização de unidades de armazenamento de energia (baterias dos veículos), onde se possa “guardar” a energia em momentos onde não exista carência da mesma, para utilizar em momentos de elevada procura. Como o V2G não consiste numa produção de energia através de uma fonte renovável, à *priori* não necessitará de incentivos. Contudo, esta decisão dependerá do distribuidor face às utilidades nos diversos mercados existentes, como se referiu em 2.6. Estando submetidos ao mesmo regime tarifário, o objectivo é incentivar o utilizador a carregar o veículo em regimes de vazio e a vender em regimes de ponta do diagrama de cargas, beneficiando assim da diferença de preços praticados por esses regimes.

Apesar de não se estar perante uma unidade de micro-geração, ao pensar-se na ligação à rede existem vários aspectos comuns, podendo então adoptar-se algumas das ideias ao V2G. O documento “Renováveis na hora - Soluções de ligação da unidade de Microprodução à RESP” [82] representa as possíveis soluções certificadas para ligação à rede dos sistemas de micro-geração. A partir deste será então possível tirar elações para descrição de possíveis soluções gerais de V2G.

Analisando o documento anterior, pode verificar-se que em todos os casos existem duas unidades de contagem, uma referente ao consumo e outro à produção. Esta situação não é directamente aplicável ao V2G, pois o veículo tanto pode comportar-se como uma carga, como uma unidade pronta a injectar potência na rede. Assim, para os sistemas de contagem propõe-se uma solução composta por um Sistema de Gestão de Contagem (SGC) e Unidades de Contagem (UC). O SGC consiste num sistema com as características de *smart meter*, referidas em 3.1.2, mas sem a capacidade de contagem. Ou seja, o SGC está em comunicação com as unidades de contagem (UC) que serão responsáveis pela contagem bidireccional de energia. Em cada período de tempo pré-definido, cada UC envia à SGC a contagem referente ao consumo e injeção, em separado.

Tendo em conta estes aspectos, para o V2G recomenda-se a solução geral representada pela Figura 3.13.

**Legenda:**

ACE - Aparelhagem de Corte de Entrada
CI - Consumo e Injecção
P - Protecção contra defeitos e sobrecargas
PD - Protecção Diferencial
PI - Protecção Inteligente
QE - Quadro de Entrada
QEC - Quadro da Estação de Carregamento
QI - Quadro da Instalação local
SF - Seccionador-Fusível
SGC - Sistema de Gestão de Contagem
UC - Unidade de Contagem

Figura 3.13 - Esquema de geral de ligação à rede.

A Figura 3.13 representa o esquema unifilar de uma instalação eléctrica que possui, ligado ao respectivo quadro de entrada, um sistema de V2G. A ligação à RESP (Rede Energética de Serviço Público) poderá ser efectuada através da ligação directa do ramal à portinhola CI representada, no caso de instalações novas. Em instalações existentes, deve existir a ligação desta portinhola a outra portinhola existente ou a outro tipo de derivação aérea ou subterrânea. O SGC deve estar directamente ligado à portinhola CI. Esta deve ser acessível ao distribuidor, capaz de assegurar a protecção contra defeitos e, em caso de necessidade, isolar a instalação do cliente da RESP. Portanto, como se pode observar, na portinhola as fases devem ser intercaladas por um seccionador-fusível e o neutro por um seccionador, independentemente de ser uma instalação trifásica ou monofásica. Após o SGC, encontra-se o aparelho de corte de entrada (ACE) que, para além de proteger a instalação a jusante, funcionará como limitador de potência do quadro eléctrico de entrada. Como se pode verificar no esquema anterior, no QE existem duas derivações, onde uma é destinada ao quadro da estação de carregamento (QEC) e a outra para o quadro destinado à restante instalação de consumo (QI). À entrada de QEC e do QI existem existir um UM em cada com o

objectivo de efectuar a contagem das duas instalações, e enviar esses dados ao SGC. Esta separação é necessária para existir uma contabilização independente do consumo e injeção.

Esta situação representa uma ideia global das ligações eléctricas. Assim, conforme a situação prática podem ser necessárias alterações. Estas ligações encontram-se detalhadas situações práticas típicas, representadas no capítulo 4. Relativamente ao sistema de protecção, a topologia adoptada tem como objectivo promover a protecção (diferencial, curto-circuitos e sobrecargas) e a qualidade de serviço. Contudo, poderão ser adoptadas outras topologias desde que abrangidas pelo “Regras Técnicas das Instalações Eléctricas de Baixa Tensão”, conforme se aborda na próxima secção.

3.2. Normas e requisitos

Após uma pesquisa bibliográfica sobre este assunto, no livro de *Sandeep Dhameja* intitulado por “*Electric Vehicle Battery Systems*” [13] analisaram-se um conjunto de práticas que se devem seguir na instalação eléctrica de mecanismos de carregamento de veículos. Analisando o documento anterior, constata-se a necessidade do mecanismo de conexão eléctrica ser projectado de forma a prevenir eventuais desconexões não intencionais. Em relação ao sistema de alimentação, os veículos de propulsão eléctrica devem ser considerados como cargas contínuas. Portanto, a política de gestão de processos de carga deve ter em conta este aspecto. Relativamente ao dimensionamento da instalação, é enunciado que os equipamentos devem estar preparados para 125% da máxima corrente de carga previsível. Esta última recomendação permite, por exemplo, concluir que este sobredimensionamento da instalação se traduz na obtenção de um menor aquecimento do material eléctrico, resultando menores perdas por efeito de Joule. Por outro lado, a “folga” de 25% também permite suportar pequenos picos de corrente, que não têm consequências negativas para a instalação.

Como a presente dissertação visa a implementação em Portugal, membro da União Europeia, todo o equipamento deverá também, obrigatoriamente, obedecer aos decretos de lei respeitantes ao material eléctrico, comunicações e instalações envolventes.

A directiva 2006/95/CE [83], do parlamento europeu e do conselho da união europeia, de 12 de Dezembro de 2006 relativa à harmonização das legislações dos Estados-Membros no domínio do material eléctrico destinado a ser utilizado dentro de certos limites de tensão deve ser analisada para futuro processo de construção de todas as unidades. A presente directiva diz respeito a todo material eléctrico destinado a ser utilizado sob uma tensão nominal compreendida entre 50 e 1000 V para a corrente alterna (AC), e entre 75 e 1500 V para a corrente contínua (DC). Devem ser cumpridos todos os aspectos desta directiva em todo o equipamento englobado numa estação de carregamento.

A directiva 2004/108/CE, presente em [84] do Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia, de 15 de Dezembro de 2004 relativa à aproximação das legislações dos Estados-Membros respeitantes à compatibilidade electromagnética também deve ser analisada. Aqui são especificados todos os requisitos relevantes a perturbações electromagnéticas que todos os sistemas de rádio e telecomunicações devem cumprir. Na modulação que vai ser apresentada, utilizam-se sistemas sem-fios que necessitam cumprir todos os requisitos especificados nesta directiva.

Todas as instalações eléctricas em Portugal de baixa tensão devem ainda obedecer às “Regras Técnicas das Instalações Eléctricas de Baixa Tensão”, conforme indicado pela Direcção Geral de Geologia e Energia.

Capítulo 4

Casos Práticos

4.1. Edifício residencial

Num edifício residencial pode surgir a necessidade de uma instalação que permita implementar um sistema de carregamento de veículos, incluindo o V2G. Os veículos que poderão surgir neste local serão sobretudo VE e PHEV ligeiros, onde se englobarão todos os tipos de carros ligeiros, scooters e diversos tipos de motociclos. Através dos tipos de veículos pode então caracterizar-se os tipos de carga que podem surgir:

- Analisando a tabela A.1, apura-se que podem surgir sistemas de carga que exijam conexão em tomadas eléctricas monofásicas ou trifásicas, como por exemplo o *Th!nk City* ou a scooter *E-Bicla*. A estrutura de um processo com estas características foi retratada em 3.1.4.1, método (1);
- Veículos como o *Tesla Roadster* possuem uma estação de carregamento própria, já fornecida pela marca, para permitir um carregamento mais rápido. Ou por exemplo, no caso do *Lighting GT* o carregamento rápido é controlado pelo BMS do próprio veículo. Tendo em conta que a carga será totalmente controlada pelo equipamento fornecido pelo fabricante, pode-se representar esta situação pela descrita em 3.1.4.2, método (2);
- Veículos que facultem o acesso as baterias podem levar à adopção de uma metodologia de carga em DC. Na pesquisa de veículos efectuada não se encontrou este dado na maioria dos modelos, contudo a *Alke* disponibiliza alguns modelos de pequenos utilitários que permitem o acesso directo às baterias. Este aspecto pode levar a adopção de um sistema exterior de carregamento dedicado a determinada bateria, cujas especificações se encontra em 3.1.4.3, método (3). Em opção pode também optar-se por um sistema universal obedecendo aos critérios indicados em 3.1.4.4, método (4);

Os métodos (2) e (3) poderão não se aplicar em muitas habitações pois constituem aplicações que geralmente envolvem uma potência de pico muito elevada. Logo, potências de carga muito elevadas poderão não estar à margem de uma comum habitação.

Considerando os requisitos técnicos representados em 3.2 e os conceitos adoptados para o V2G (3.1.5), para um edifício residencial, as ligações eléctricas podem ser representadas pela Figura 4.1.

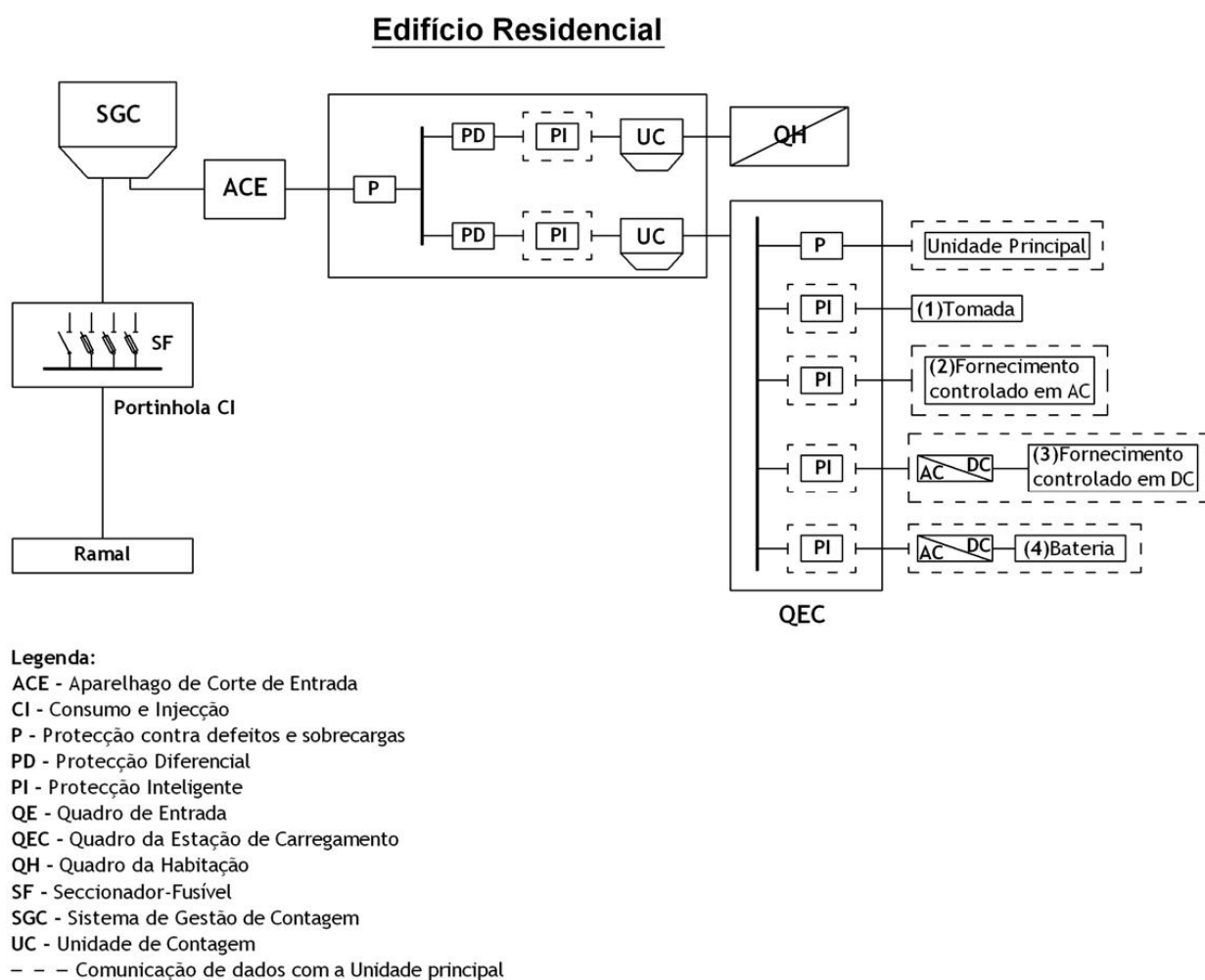


Figura 4.1 - Esquema de ligações para um edifício residencial.

Como se pode constatar na análise da Figura 4.1, a partir do quadro de entrada são efectuadas duas derivações, uma para o quadro da estação de carregamento e outra para o quadro destinado ao consumo da habitação (QH). Esta medida é recomendada com o objectivo de tornar as duas instalações independentes, o que é uma característica bastante útil sobretudo em casos de defeito.

O sistema de monitorização da rede será possível através PI que como, já se referiu, para além da função de protecção contra defeitos e sobrecargas, têm ainda a capacidade de medir o valor de corrente instantânea e colocar toda a instalação a jusante fora de serviço sempre que a Unidade principal o "ordenar".

Observando a Figura 4.1, constata-se que existem PI em todos os terminais de carga, com o objectivo de monitorizar a corrente que circula em cada um ou coloca-los indisponíveis quando se considerar que não existe potência suficiente para o carregamento. Para monitorizar os consumos da habitação, coloca-se uma PI antes do respectivo quadro eléctrico QH. Pois, o PI é responsável pela medição da corrente eléctrica em instantes pré-determinados.

À semelhança do referido em 3.1.3.2, numa solução ideal a instalação doméstica deveria ter um sistema de domótica. Assim seria possível a elaboração de um algoritmo onde fosse possível o deslastre de carga quando fosse necessário um carregamento urgente do veículo. Ou até mesmo uma avaliação e ligação automática das cargas prioritárias para um cenário onde exista uma falha da rede e o veículo é que alimenta a instalação da habitação.

Quando não existir domótica e se pretender que o veículo alimente a instalação de consumo, é necessário que exista uma possibilidade de ligação sequencial das cargas. Esta funcionalidade pode ser implementada através do uso de PI no quadro da referida instalação, que neste caso é o quadro da habitação. Assim, o QH poderia ser constituído de acordo com o exemplo da Figura 4.2.

Quadro da Habitação

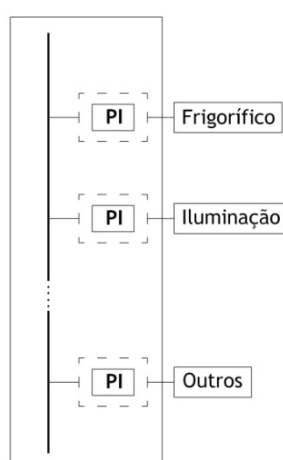


Figura 4.2 - Exemplo de um quadro de habitação com protecções inteligentes.

Na Figura 4.1 pretende representar-se um exemplo de um quadro de uma habitação, onde ligado aos terminais existe uma PI. Quando uma habitação estiver isolada da rede e se pretender alimentar a habitação a partir do veículo, as PI desligarão todos os circuitos. Como as baterias podem não possuir potência suficiente para alimentar toda a habitação, a ligação dos vários circuitos terá que ser sequencial. A ordem de ligação deverá ser implementada na Unidade principal, senão a prioridade serão os circuitos de menor potência. Este dado é adquirido, pois cada PI envia o sinal do calibre do respectivo disjuntor. Após ligar um circuito, durante um pré-determinado período de tempo, a PI envia a medição da corrente instantânea de consumo. Assim, o sistema consegue calcular uma percentagem de potência utilizada por esse circuito e avaliar se pode proceder com a ligação do próximo circuito.

Através do modelo representado na Figura 4.2, é também possível efectuar um deslastre de cargas numa situação de necessidade urgente de potência. Mais uma vez, a prioridade de deslastre deve estar programada na Unidade principal. Caso contrário, podem ocorrer

situações negativas para o consumidor. Contudo, em caso de inexistência desses dados, o sistema deve escolher por deslastrar, sequencialmente, os circuitos que utilizam uma maior taxa de potência. Assim, as PI assumem um papel fundamental, para a implementação destas funcionalidades. Estas funcionalidades só se apresentam para as habitações, já que no caso das habitações colectivas o processo será semelhante e nos restantes casos a aplicação prática não é totalmente viável.

À semelhança das anteriores, a PI colocada antes do quadro da estação de carregamento permite monitorizar o fluxo de corrente total que entra na instalação de carregamento e coloca-la fora de serviço em caso de defeito. Como se têm PI em todos os terminais, o somatório destes não poderá variar muito em relação da PI do QEC, já que a Unidade principal será um circuito de pouca potência.

O algoritmo de gestão presente na Unidade principal deve incluir aspectos referidos em 3.1.4. Contudo, nos regimes “normal” e “urgente” não serão praticados preços diferentes. Aqui, a finalidade será otimizar o preço pago pelo consumidor. Pois, a principal vantagem na adopção destes regimes consiste numa espera automática para o regime tarifário mais baixo, caso o consumidor assuma que não tem urgência no processo (regime normal). Em relação ao regime urgente, pode ainda ser atribuída uma subcategoria que indique que o carregamento é de extrema necessidade. Com objectivo de, apenas nesse regime, iniciar o processo de deslastre de carga, em caso de necessidade. Portanto, todas as práticas adoptadas devem-se destinar ao bom funcionamento da habitação e otimizar o preço total, com base nos regimes tarifários.

Para estes edifícios, a aposta será carregar veículos como o *Th!nk City*, que exige uma potência de pico de cerca de 3kW em monofásico ou *Fiat Phylla* que necessita de uma potência de pico de 3 a 4,5kW.

4.2. Edifício de habitação colectiva

Nos edifícios de habitação colectiva, o tipo de veículos que poderão surgir serão comuns ao caso anterior. Portanto, os métodos de carga a empregar serão os mesmos do caso anterior.

Neste caso, geralmente, os veículos localizam-se em aparcamentos ou garagens distanciadas da habitação. Em algumas instalações, o quadro da estação de carregamento de cada consumidor pode estar ligado ao quadro de entrada de cada habitação. Portanto deve ser encarado como a situação descrita em 4.1. No entanto, na maioria das situações, a zona de garagens encontra-se ligada ao quadro eléctrico dos serviços comuns.

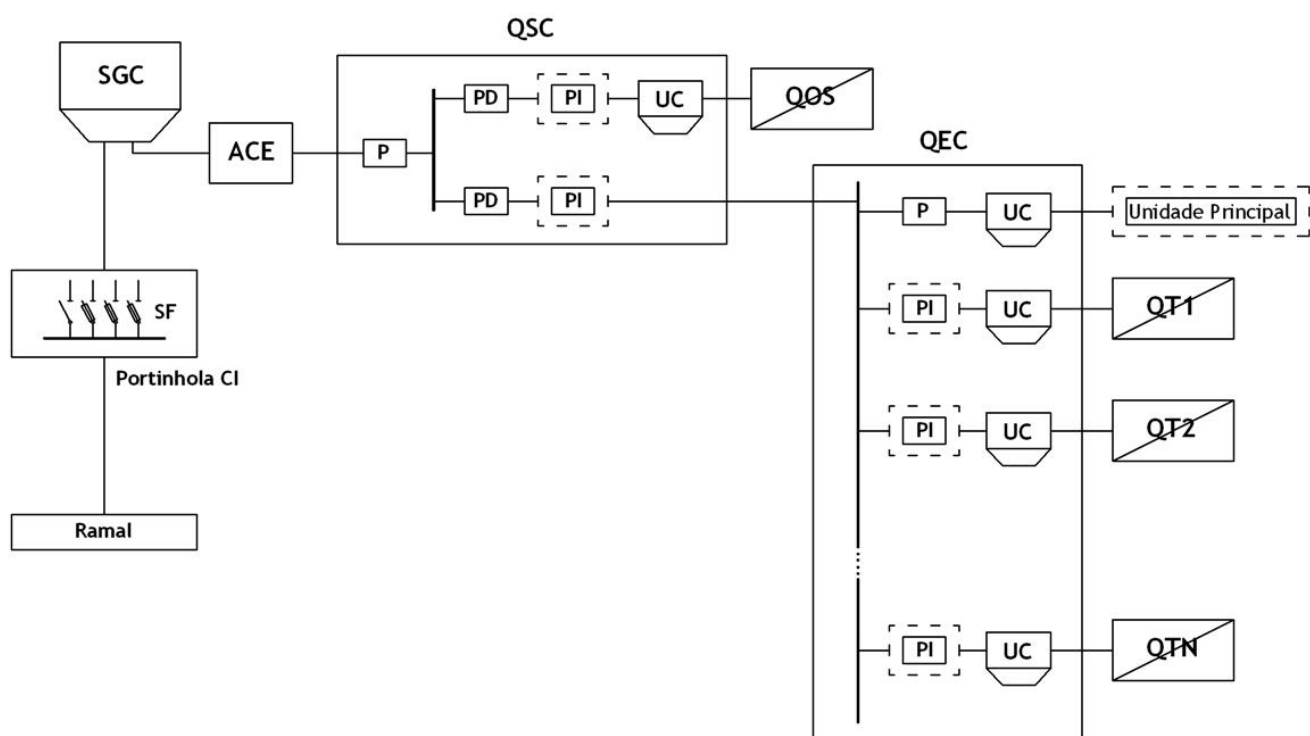
Partindo das características enunciadas, surge a necessidade de se obter uma solução que permita desagregar os consumos de cada utilizador de forma que cada um só pague o que efectivamente consumiu. Assim, face ao caso anterior, o sistema de contagem ligado à estação de carregamento terá que ter uma topologia diferente, adoptando-se o esquema representado na Figura 4.3. Para cumprir a desagregação de consumos, a ideia consiste em acoplar, a cada quadro de terminal um UC, devidamente identificado pelo SGC. Estes estão em comunicação com SGC e este, por sua vez, com o distribuidor. Esta topologia permitirá ao distribuidor desagregar os consumos e enviar a factura com a discriminação dos consumos de cada cliente. Uma ideia para pagamento passaria por cada cliente pagar uma percentagem

em função dos seus consumos. Todavia, não esquecendo que os próprios serviços comuns, através do quadro QOS, também constituem um cliente e os relativos à Unidade principal também necessitam ser divididos.

Observando a Figura 4.3, constata-se que o esquema de ligações até ao Quadro de Serviços Comuns é similar ao caso anterior. A partir do QSC existe uma derivação para cada consumidor, onde cada um possui um Quadro de Terminais de carga, e outra para todos os outros serviços necessários. As hipóteses possíveis para um serão as representadas, contudo cabe a cada consumidor escolher qual o método e o número de terminais que pretende.

Analogamente ao caso anterior, através da Figura 4.3, pode apurar-se que existe uma PI antes de cada quadro e antes de cada terminal de carga. Assim podem cumprir-se todas as funções de protecções e cumprir o processo monitorização de toda a instalação.

Serviços Comuns



Legenda:

ACE - Aparelhagem de Corte de Entrada
 CI - Consumo e Injecção
 N - número indefinido de consumidores
 P - Protecção contra defeitos e sobrecargas
 PD - Protecção Diferencial
 PI - Protecção Inteligente
 QEC - Quadro da Estação de Carregamento
 QOS - Quadro de Outros Serviços
 QSC - Quadro de Serviços Comuns
 QT1 - Quadro de Terminais de carga 1
 QTN - Quadro de Terminais de carga N
 SF - Seccionador-Fusível
 SGC - Sistema de Gestão de Contagem
 UC - Unidade de Contagem
 - - - Comunicação de dados com a Unidade principal

Quadro Terminal

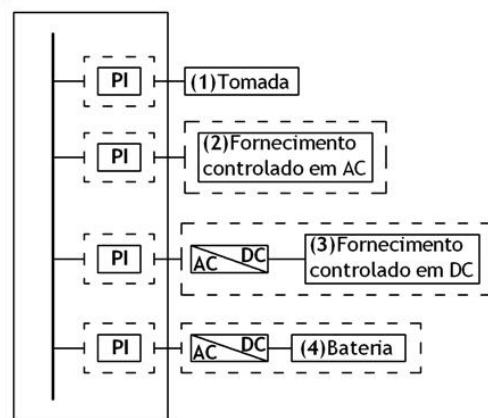


Figura 4.3 - Esquema de ligações para um edifício de habitação colectiva.

Numa instalação com estas características, podem surgir diversos veículos para carregarem as mesmas horas. A potência contratada existente pode não ser suficiente para alimentar todos os veículos ao mesmo tempo. Assim, para não existir a necessidade de aumentar muito a potência contratada, deve existir um algoritmo de gestão da instalação que permita obter bons resultados. Por exemplo, o veículo *Think City* carrega numa tomada monofásica de 230V/14A, onde a carga total demora treze horas, enquanto que 80% demora nove horas e meia. Ou seja, não carregando os 20% finais de carga consegue-se poupar quatro horas e meia. Este facto permite então adoptar uma filosofia diferente do caso anterior. Neste tipo de instalações, a Unidade principal deve detectar o SOC inicial de cada veículo, no momento em que é conectado ao terminal de carga, de modo a avaliar o tempo de carga necessário. Para diminuir o tempo previsto, o consumidor deve ainda optar por um nível de

carga máximo se isso lhe for possível (ex: 80%). Em casos onde exista um grande número de consumidores, face à potência disponível, pode ainda ser implementada uma solução onde cada um, para além de escolher o nível de SOC que pretende, escolha também as horas que pretende o veículo carregado. Esta última opção pode não ter sentido em casos onde o veículo esteja completamente descarregado, pois pode haver uma emergência e o mesmo ainda não se encontrar disponível. Contudo, esta solução será viável em casos onde o consumidor possua mais que um veículo ou um PHEV ou no caso de o VE já ter a bateria num elevado SOC.

Os carregamentos parciais de baterias necessitam de uma especial atenção, devendo existir recomendações por parte dos fabricantes. Existem baterias, nomeadamente as de níquel e as de *Lead Acid*, que podem sofrer alterações prejudiciais com carregamentos onde não se atinja o estado de bateria carregada (SOC=100%). Um efeito que pode surgir é o “efeito de memória”, onde a bateria deixa de carregar totalmente.

4.3. Parques de estacionamento

Este caso pretende representar todos os parques de estacionamento públicos que podem surgir, no âmbito do carregamento de veículos eléctricos. Todos estes parques devem ter em comum o facto de albergarem um determinado veículo durante um grande número de horas. Sobre tudo, serão locais onde os proprietários poderão deixar o seu veículo enquanto vão para o emprego ou por exemplo, para uma viagem. Assim, quanto à localização, uma solução seria localizar parques com estas características junto a estações de autocarros, metro e comboio. Outro exemplo poderá ser um parque de um aeroporto, locais específicos para pessoas que vão de viagem deixarem o seu veículo ou até mesmo em unidades industriais.

Cada consumidor terá que pagar pela respectiva carga, então a topologia das ligações eléctricas tem que prever este facto e pode ser representada pela Figura 4.4. Como se pode observar, o sistema de contagem é semelhante ao anterior. Porém, aqui não existe a preocupação da divisão de tarifas, pelo menos em relação a toda a instalação referente à estação de carregamento, já que o proprietário é o mesmo. Todas as unidades de contagem (UC) estão também em comunicação com o SGC de forma a contabilizar o consumo total.

Como se poderá constatar através da Figura 4.4, em relação às situações anteriores, aqui é introduzido um conceito novo. Pois, as UC estão ainda em contacto com a Unidade principal, com o objectivo de calcular o montante a pagar ou receber pelo consumidor, conforme utilize uma aplicação de carga e/ou V2G. Para proceder às funções de autenticação, pagamento e determinadas escolhas, é incluída em cada terminal uma unidade designada por Interface. Aqui sugere-se que esta funcione apenas como interface com o utilizador, sendo a Unidade principal a responsável por todas as funções lógicas.

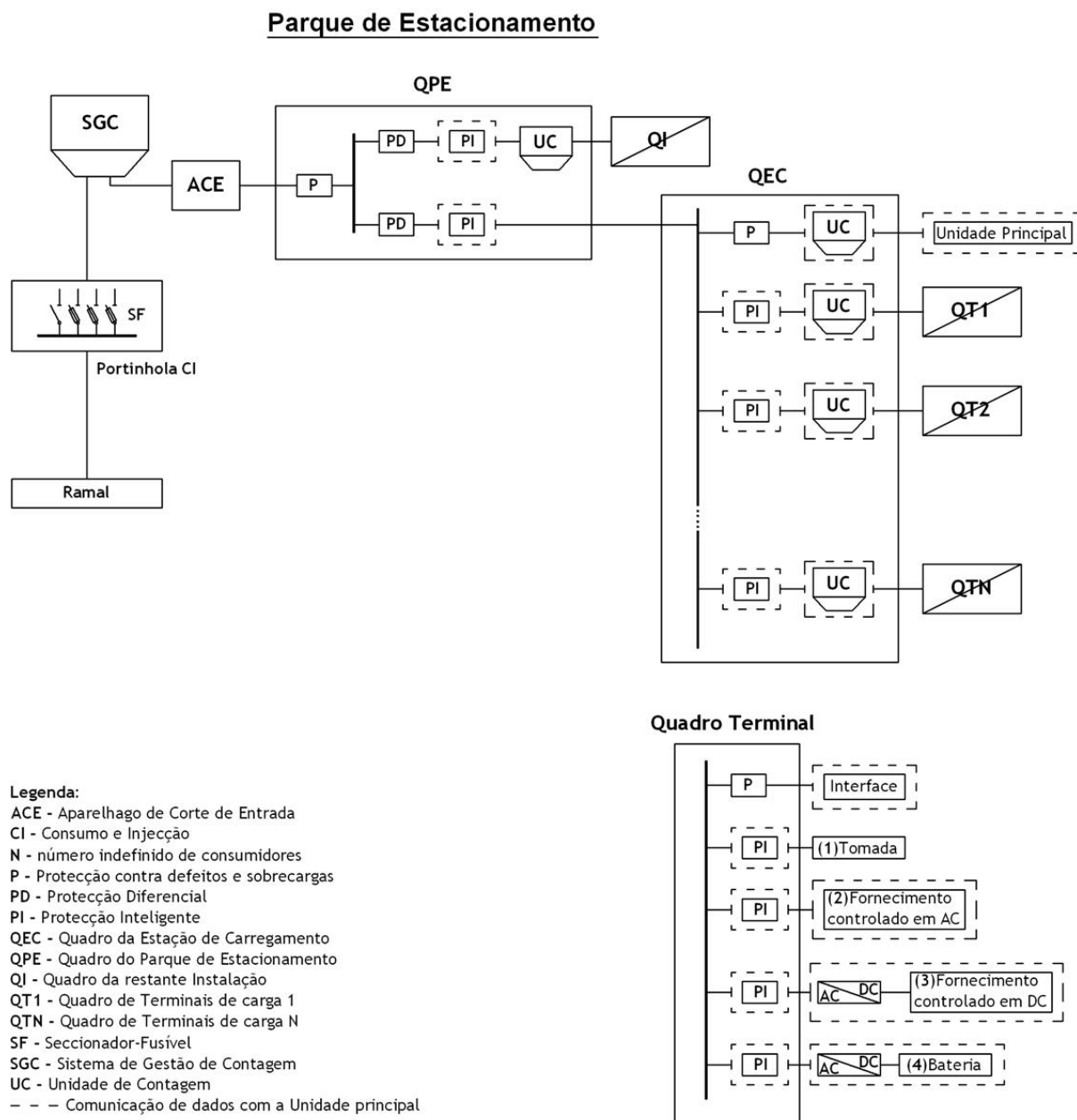


Figura 4.4 - Esquema de ligações para um parque de estacionamento.

Supondo que todo o parque de estacionamento é alimentado directamente através de um quadro, aqui designado por QPE, deste deverão derivar duas saídas independentes. Analisando a Figura 4.4, pode apurar-se que uma dessas será para utilizar no quadro da estação de carregamento e a outra para o quadro QI, cuja utilização é indicada para todas as outras aplicações ou instalações do parque (ex: iluminação, ...).

Para além dos aspectos abordados em 3.1.4, para esta situação o algoritmo de gestão da rede merece algumas considerações específicas. Uma será o facto de, dadas as características desta instalação, a potência contratada deve ter em conta a alimentação simultânea de todos os terminais. Todavia, se for possível, deve ser submetida a informação do SOC da bateria e do tempo previsto da respectiva carga. Num caso de uma exigência maior do racionamento da potência, o consumidor deve ainda indicar o horário que pretende manter o veículo no parque

e a qual o estado de SOC satisfatório. Isto porque, como já se focou anteriormente, existem casos onde este último facto permite poupar horas de carga.

Estes locais devem ter o objectivo de carregar veículos como os vocacionados para os casos anteriores, referido em 4.1 e veículos com características mais indicadas a empresas de serviços, conforme se descreve no final de 4.4.

4.4. Empresas de serviços

As empresas de serviços poderão prestar serviços de carregamento de veículos eléctricos. Exemplos práticos destes poderão ser todos os tipos de grandes espaços comerciais e outros locais públicos que se caracterizem pela visita algo demorada pelos possíveis consumidores. Ou seja, locais que ocupem os utilizador durante um tempo médio de três horas.

Nestes locais, para além dos métodos utilizados anteriormente, poderá ter alguma aplicação o método de troca de baterias. Alguns veículos podem apenas permitir métodos de carga que exijam muitas horas de carga. Então nestes casos, um período de três horas pode não ser suficiente para se atingir um SOC satisfatório. Assim, nestes casos poderá ter sucesso uma aplicação de troca de baterias. Porém, após uma pesquisa de vários modelos de veículos, é possível perceber que a implementação de um sistema de troca automatizada será difícil devido às diferenças de construção entre os veículos. A inclusão do sistema de troca de baterias pode ser observada no esquema de ligações da Figura 4.5.

Observando a Figura 4.5, pode constatar-se que a topologia geral é semelhante ao caso anterior. Contudo, neste caso surge um outro quadro eléctrico ligado ao quadro da estação de carregamento. Esse quadro destina-se a alimentar todos os sistemas utilizados para o método de troca de baterias e é então designado por QTB. Neste estão representados três circuitos gerais. O primeiro é designado por Interface e, como se explicou no caso anterior, constitui a unidade de interface o consumidor. No segundo circuito, designado por Mecanismos necessários, pretende representar-se todos os processos mecânicos eléctricos que podem ser necessários na troca de baterias. O terceiro corresponde ao circuito de recarregamento de baterias que entram na unidade de carregamento. No QTB é acoplada uma UC para contabilizar a energia dispendida no carregamento de determinada bateria e que, para além de estar em comunicação com o SGC, também está em comunicação com a Unidade principal. A comunicação com esta unidade é útil em casos onde, por exemplo, o cálculo do preço consista numa adição de parcelas remuneratórias, onde uma delas seja a energia que a respectiva bateria exige para a troca e carregamento.

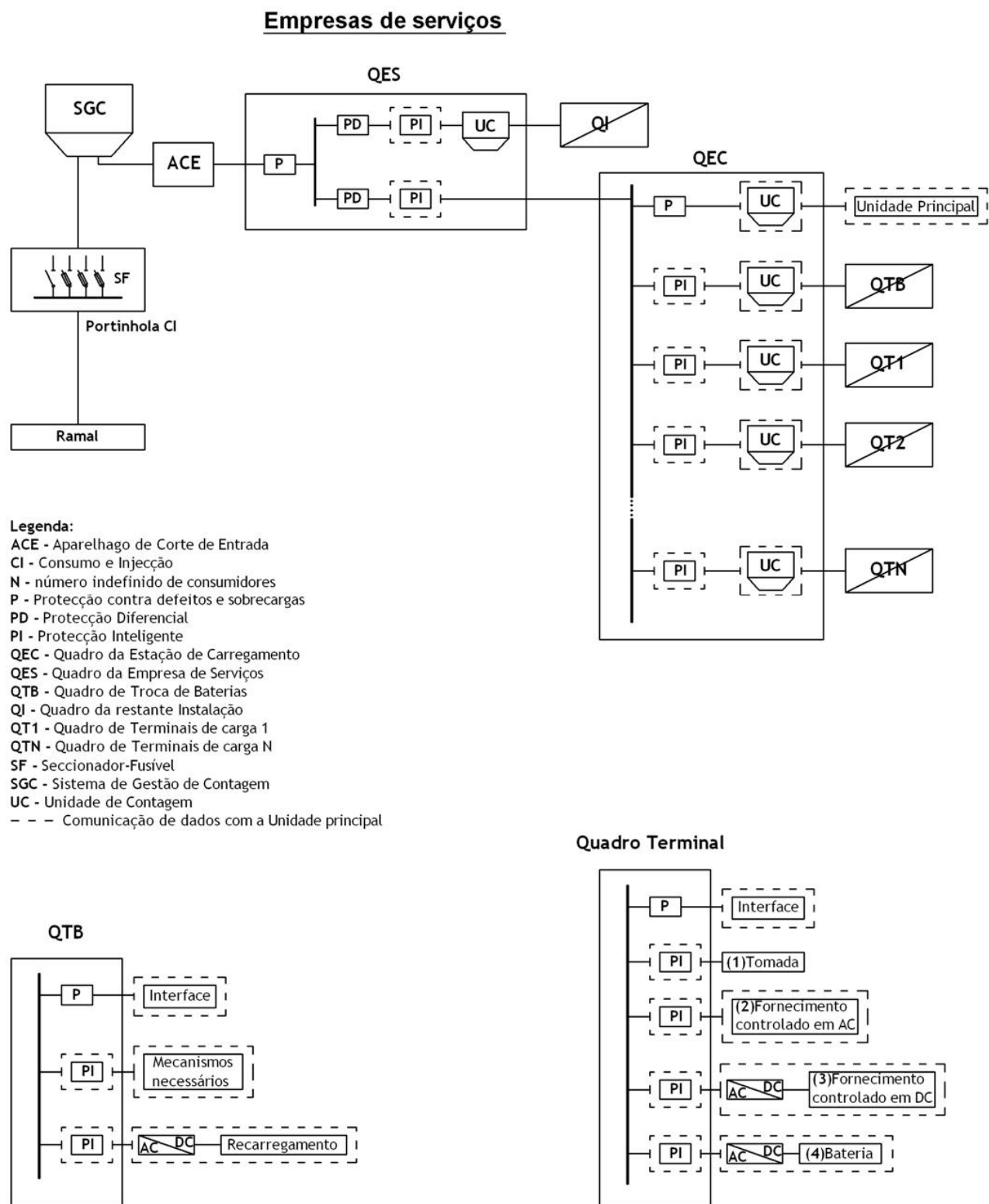


Figura 4.5 - Esquema de ligações para empresas de serviços.

Tendo em conta as características desta situação, em relação às anteriores, para os métodos de carga (1), (2), (3) e (4), em média, podem esperar-se potências mais elevadas que nos casos anteriores. Ou seja, tendo em conta o tempo médio de utilização dos serviços, estes locais destinam-se essencialmente a veículos como o *REVA G-WIZ*, que carrega 80% em cerca de duas horas e meia, ou o *Mini Cooper EV* que demora cerca de três horas a efectuar

um carregamento completo. Por exemplo, no caso do *Cooper* o carregador interno exige uma tensão nominal de 240VAC e uma corrente máxima de 48A, correspondendo a uma potência de pico de mais de 11KW. Embora esta tensão não esteja normalizada para Portugal é possível prever que veículos com potências deste calibre podem surgir. Uma habitação comum não possui potência suficiente para albergar carregamentos deste tipo, então uma empresa de serviço pode constituir uma solução.

Assim, a escolha de uma potência de pico contratada ou limite da instalação deve ter em conta o número de clientes que se pretende atender simultaneamente. Aqui os regimes “normal” e “urgente” não têm aplicação, pois o espaço de tempo é curto para permitir um método de gestão com estas características. Contudo, aqui é importante o conhecimento do SOC inicial da bateria e tempo previsto de carga, para permitir uma melhor gestão de todo o sistema.

A estação de carregamento não deve permitir técnicas de carga muito rápidas (menos de meia hora) devido à elevada potência de pico que exigem. Contudo, pode também se optar por permitir esses tipos de carga em horários onde se preveja que a afluência de consumidores seja bastante menor. Pois, uma menor adesão traduz-se directamente na diminuição da exigência de potência de pico, adquirindo uma “folga” para carregamentos mais rápidos. Com o auxílio das PI, após um período de teste, pode-se estudar a viabilidade da inclusão dos referidos horários.

4.5. Estações de serviço

Em locais de passagem, a necessidade de carregamento de veículos exige condições diferentes dos casos referidos anteriormente. Entre outros, locais deste tipo podem encontrar-se em auto-estradas e vias principais. Estes caracterizam-se pela permanência curta das pessoas. Portanto, o objectivo principal será responder ao carregamento da bateria de um determinado consumidor num intervalo de tempo atractivo. Ou seja, num período máximo de cerca de 20 minutos.

Para cumprir estas exigências, uma solução possível terá um esquema de ligações com as mesmas características do caso anterior, representado na Figura 4.5. Assim, o quadro da empresa de serviços corresponde ao quadro da estação de carregamento neste caso. A diferença para a situação anterior, reside na configuração do quadro de cada terminal de carga. Para além da troca de baterias, neste caso apenas se consideram os métodos de carga (2), (3) e (4). Assim, o quadro de cada terminal deverá ter a constituição representada na Figura 4.6.

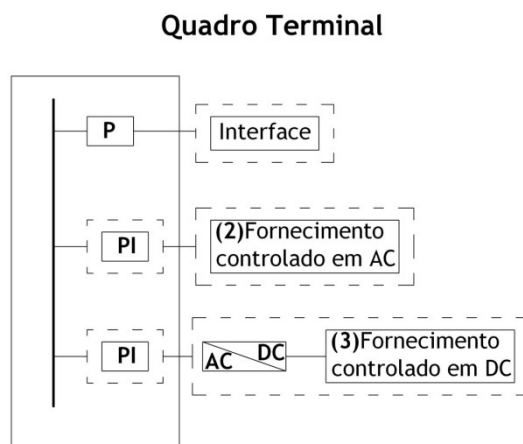


Figura 4.6 - Pormenor do Quadro de Terminais numa estação de serviço.

Como um carregamento rápido exige uma corrente de carga muito elevada, existe o grande perigo de danificar irreversivelmente a bateria, como se demonstrou ao longo do capítulo 2. Para garantir maior segurança, apenas se considerarão os métodos de carregamento totalmente controlados por uma unidade exterior à estação de carregamento. Assim, é necessário sublinhar que no método (4) apenas se aceitará um regime de carga rápida para uma bateria, cujo algoritmo de carga encontra numa Base de dados interna, como se referiu em 3.1.4.4. Eventualmente, uma unidade classificada como bateria inteligente também estaria incluída numa situação de carga controlada. Todavia, na prática, não se encontram veículos que utilizem um sistema de bateria inteligente para controlar uma gama tão elevada de potência. Uma situação deste género exige mesmo a existência de um sistema de BMS, seja da própria estação de carga (através da base de dados interna), seja uma estação externa (portátil por exemplo) ou do próprio veículo.

Para o sistema de troca de baterias, o tipo de carga a empregar poderá ser rápida ou normal, pois tendo em conta as características da instalação, a carga lenta não se recomenda. Esta decisão está implicitamente ligada ao *stock* existente em baterias para troca, número esperado de presumíveis clientes e até mesmo o nível de potência contratada.

A potência contratada deve prever a possibilidade de ocorrência de carregamentos simultâneos, em qualquer um dos métodos anteriores, já que o tempo de espera não poderá ser longo. Este facto deve ter-se em conta para o algoritmo de gestão da rede, já que períodos de espera superiores a 5 minutos não são recomendados. Todavia, se o objectivo de uma estação de serviço for albergar todos os tipos de carga rápida será necessário um posto de transformação exclusivamente destinado a este fim. Por exemplo, o veículo *Phoenix SUT* está habilitado a carregar em cerca de dez minutos, através de uma estação de carregamento externa “dedicada”, necessitando para tal uma potência de pico de 250kW.

4.6. Unidades industriais

Em indústrias específicas podem surgir meios de transporte a propulsão eléctrica, exigindo a correspondente carga de baterias. Como exemplo deste cenário, pode referir-se a marca de empilhadores *Crown*, representada na tabela A.1, que possui modelos totalmente eléctricos que pode ser empregue em vários tipos de indústrias. A *ISE corporation* e a *ALKE*,

também representadas na tabela A.1, constituem exemplos de produtoras de veículos que podem ser utilizados ao serviço de aeroportos ou outras unidades industriais que necessitem o transporte de pessoas. Estes casos anteriores aliados à aposta em autocarros eléctricos, como a *Gulliver* ou a *Tecnobus*, e a existência de veículos de mercadorias, como os da marca *ZAP*, levam a que esta situação possa surgir num futuro próximo.

A metodologia de carga implícita em casos como este será essencialmente a carga “dedicada” de baterias. Como cada veículo tem uma utilização específica, não estará dimensionado para ter um tipo de carga aplicável em qualquer local. Normalmente, estes possuem carregadores “dedicados” exteriores, indicados pela própria marca. Este facto permite, em muitos casos, diminuir o peso dos veículos e que o comprador possa comprar baterias adicionais sem necessitar de um investimento adicional. Ou seja, como o próprio carregador externo está vocacionado para a bateria, este pode carrega-la no próprio veículo ou fora dele. Assim, em casos onde o veículo não pode parar ou não possui um sistema de carga suficientemente rápida, a solução passa pela compra de baterias suplentes que podem carregar enquanto o veículo está em utilização. Este processo consiste então numa troca de baterias que poderá ser automática ou não, sobretudo devido às dimensões que as baterias podem atingir. Nomeadamente em autocarros, muitas vezes necessita-se de um empilhador para efectuar a troca de baterias.

Tendo em conta os aspectos abordados, o esquema de ligações proposto será igual ao das estações de serviço. Correspondendo então ao quadro de ligações da figura 4.4, onde o quadro de cada terminal é composto como o da figura 4.5. Contudo, as UC ligadas ao quadro de cada terminal e ao quadro de troca de baterias da figura 4.4 estão em comunicação com a Unidade principal. Como aqui não existe um serviço público e o proprietário se prevê que seja o mesmo, as UC apenas necessitam de estar em comunicação com o SGC.

O algoritmo de gestão do sistema deve prever as necessidades da unidade industrial em função das baterias e/ou veículos suplentes e potência disponível. Aqui não fará sentido a utilização dos regimes “normal” e “urgente”, por se considerar que num sistema industrial todos os serviços previstos são necessários e não podem ser colocados em espera, em casos exista disponibilidade de potência.

A potência contratada, para estas situações, deve prever responder às necessidades dos carregamentos. Contudo, as potências de pico utilizadas serão elevadas. Por exemplo, os empilhadores *Crown* exigem cerca de 35kW de pico e, embora não se tenham encontrado dados de potências, o autocarro *Proterra* da *Burbank* apresenta a possibilidade de carregar em seis minutos uma bateria que permite uma autonomia de 400km.

Capítulo 5

Conclusões e Trabalhos Futuros

A presente dissertação teve como objectivo principal a identificação de soluções técnicas de carga de veículos eléctricos, para as diferentes situações de utilização. O resultado genérico deste trabalho contribuir para a identificação das tecnologias a integrar ou a desenvolver, suportando o desenvolvimento de uma plataforma de serviços para veículos eléctricos, identificando necessidades de desenvolvimento e oportunidades de potenciais mercados de equipamentos e serviços.

Tendo em conta toda a investigação inicial, pode concluir-se que no geral surgirão dois tipos de veículos para recarregar, os veículos totalmente eléctricos e os híbridos com capacidade *plug-in*. Independentemente do tipo de baterias que cada um destes possui, constatou-se o tempo de carga pode ir de cerca de dez minutos até mais de oito horas. Assim, a necessidade de carga pode exigir potências que vão desde valores inferiores ao kW até várias dezenas de kW.

Um dos objectivos principais consiste em analisar as diferentes alternativas de configurações de sistemas de carga de uma bateria. Assim, apura-se que podem englobar-se as topologias existentes em cinco tipos, que nesta dissertação foram designados por: tomada eléctrica, fornecimento controlado em AC, fornecimento controlado em DC, bateria e troca de baterias. Na primeira, o veículo é acoplado a uma tomada eléctrica monofásica ou trifásica, sendo a estação de carregamento apenas responsável por fornecer a energia eléctrica necessária. No método de fornecimento controlado, tanto em corrente alternada como em corrente contínua, o processo é controlado pelo BMS do veículo ou outra unidade externa com o mesmo funcionamento. A solução designada por bateria corresponde a um tipo de solução onde a estação carrega directamente a bateria, em corrente contínua. Aqui, a condução de todo o processo baseia-se num conjunto de dados e características, fornecidos pelo fabricante. Na troca de baterias, supõe-se a existência de um sistema automatizado que execute os mecanismos necessários.

Em todos os métodos de carga, existem diferenças conforme o construtor dos veículos, no que diz respeito às potências envolvidas, sistemas de controlo de carga e baterias, protocolo de comunicação entre o sistema de carga e o veículo, configuração física de terminais de conexão, acessibilidade das baterias e dos terminais. Isto leva a concluir que dois cenários possíveis podem surgir: ou se implementa um sistema destinado a determinadas marca(s) e

modelo(s), ou os fabricantes definem normas comuns que permitam a uniformidade dos sistemas de carregamento. Contudo, esta inexistência de uniformidade poderá constituir um entrave maior para o surgimento de serviços de troca de baterias. Pois será difícil existir um sistema automatizado adaptável a diferentes sistemas de baterias.

Na presente dissertação apresenta-se uma especificação para uma estação de carregamento universal. Apresentam-se todos os módulos, funções, requisitos e estruturas necessárias. As funcionalidades principais que esta estação contempla são os métodos de carga indicados anteriormente e a possibilidade de funcionamento em modo V2G. Um dos objectivos também propostos consiste em incorporar na estação de carregamento, um sistema de gestão inteligente com a instalação local. Para assegurar a monitorização da instalação onde está ligada a estação, elaborou-se um modelo de protecção inteligente. Através destas, é possível implementar a estratégia de monitorização proposta, de um modo inovador e automático, optimizando o uso da potência disponível e os custos de exploração.

Para optimizar o plano de tarifas e a implementação do V2G, considera-se importante utilizar uma metodologia permita “dialogar” com o operador da rede de serviço público. A proposta para esta ferramenta consiste na utilização de um sistema de gestão de contagem, em comunicação com o operador, ligado a um conjunto de unidades de contagem. Esta abordagem traduz-se numa maior simplicidade nas ligações e permite uma contabilização desagregada dos consumos. Caso o operador de rede permita, em certos casos onde vários utilizadores frequentes partilhem a mesma infra-estrutura para carregarem os seus veículos, pode até ser emitida a factura já desagregada.

Caso se difunda o mercado de veículos eléctricos com capacidade V2G, será justificável a existência de regras de ligação à rede eléctrica e contagem, tal como existem actualmente no âmbito da microgeração. Nesta dissertação preparou-se uma proposta a seguir na instalação de sistemas de carga, com possibilidade de V2G. A viabilidade dessa proposta foi detalhada em seis casos práticos, escolhidos de forma a englobarem os casos típicos reais que podem surgir.

Como trabalhos futuros, em primeiro lugar, propõe-se o estudo de uma proposta económica e técnica que promova a troca de baterias. Uma das dificuldades da aceitação desta modalidade, pelos consumidores, pode passar pelo facto desses possuírem algum tipo de receio face ao estado da bateria trocada. Assim, tendo em conta os mecanismos que existem na actualidade um trabalho futuro poderia passar por analisar a viabilidade de implementar um conjunto de níveis de estado de “saúde” da bateria. Com a finalidade de um consumidor trocar uma bateria com o mesmo estado da que possuía e, ao fim de um determinado número de trocas, passar para o patamar de qualidade inferior.

A execução prática das metodologias e equipamentos propostos são os trabalhos futuros mais importantes para um estudo com estas características. Contudo, para se implementar num determinado local, um trabalho necessário seria elaborar um programa que implementa-se um algoritmo de gestão de todos os processos. Mas a elaboração desse programa pressupõe a elaboração de um algoritmo cujas características mais relevantes são contribuição esta dissertação.

Anexos

Anexo A - Tabela de veículos de propulsão eléctrica

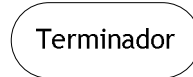
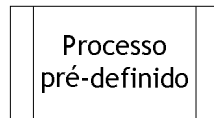
Tabela A.1 - Recolha de informação de VE e PHEV.

Categoria	Descrição	Marca	Modelo	Tipo de Bateria	Dados da Bateria	Tempo de carga	Tipo de Carregador	Autonomia a Baterias	Pot. Máx.	Fonte
VE	Carro golf / Pequeno utilitário	ALKE	ATX-100		48V	8h		70 km	16v	[85]
EV	Veículo ligeiro	Batscap	BlueCar	Lithium Polymer		6h		200 km	65cv	[86]
VE	Scooter	Bereco	Bereco	Lead Acid	48V/40Ah	8h	AC 230V/300W	40-50 km	2500W	[87]
VE	Scooter	Bereco	Evo	Lithium-Ion	64V/40Ah	8h	AC 230V/500W	60-70 km	5,5kW	[87]
VE	Mini-Autocarro	Bredamenarinibus	Zeus	Lithium-Ion	270V/200A/54kWh	menos de 6h	380V(3-)/21A (carregador externo)	120 km	30kw	[88]
PHEV	Autocarro	Burbank	Proterra HFC35	Nano-Lithium Titanate		6 minutos	Proterra quick charge station	400 km	67 cv	[89]
PHEV	Veículo ligeiro	BYD	F3DM	Lithium Polymer		7h	Tomada Eléctrica	90 km		[90]
EV	Veículo ligeiro	BYD	F3e	Lithium Polymer			220VAC/10A	300 km		[91]
PHEV	Veículo ligeiro	Cadillac	Converj	Lithium-Ion	16kWh	3h ou 8h	240V ou 120V	64 km	162 cv	[92]
PHEV	Veículo ligeiro	Chevrolet	Volt	Lithium-Ion	16kWh	8h/3h	120VAC(8h) / 240VAC (3h)	64 km	160 cv	[93]
PHEV	Veículo ligeiro	Chrysler	EV	Lithium-Ion	22kWh		AC 110/120V (15A) ou 220/240V (30A)	65 km	200kW (268cv)	[94]
VE	Veículo ligeiro	Chrysler	Circuit EV	Lithium-Ion				240-320 km		[95]
VE	Empilhadores	Crown	2300		24V/250Ah		carreagor integrado (opcional)	5h	1,1kw	[96]
VE	Veículo ligeiro	Daewoo	Dev5	NiMh	95Ah					[97]
PHEV	Autocarro	Designlineinternational	MK-IV	Lead Acid (NiMH ou Lithium-Ion)	16kWh (60%-100%)		230V(3-)/50A ou 400V/25A (90% eficiência)			[98]
VE	Veículo ligeiro	Dodge	EV	Lithium-Ion	26kWh (380Vdc-420)	8h(110V) / 4h(220V)	AC 110/120V (15A) ou 220/240V (30A)	240-320 km	268cv	[98]
VE	Scooter	E-Bicla	PB806	Lead Acid	48V/20Ah	3-8h	100-240 VAC		450W	[99]
VE	Veículo ligeiro Português	Ecobelo	Futi	Lead Acid (gel)		5h		120 km	3kw - 9kw	[100]
VE	Motociclo	eKRAD		Lithium Polymer	72V/50Ah				28cv	[101]
VE	Veículo ligeiro	Fiat	Phylla	Lithium-Ion		4h ou 3h	4,5kW (4h) ou 3kW (5h)	145 km	73cv	[102]
VE	Veículo ligeiro	Fiat	Phylla (2)	Lithium Polymer			4,5kW (4h) ou 3kW (5h)	220 km	73cv	[103]
PHEV	Veículo ligeiro	Fisker	Karma	Lithium-Ion			110V / 220V / 240V	80 km	210cv	[103]
EV	Veículo Ligeiro Desportivo	Ginetta	G50 EV					400 km		[104]
VE	Veículo ligeiro	Hyundai	Atos ev	NiMh		6h		200 km	50 kW	[105]
VE	Comboio turístico	ISE Corporation	ThunderVolt	Zebra	600V	85% - 3h / 100%- 6h	208-277VAC(3-)/60A	80 km		[106]
PHEV	Veículo ligeiro	Jeep	EV	Lithium-Ion	27kWh		AC 110/120V (15A) ou 220/240V (30A)	64 km	200kW (268cv)	[107]
EV	Veículo ligeiro	Kas	Ellica	Lithium-Ion		10h		320/200	480 cv	[108]
VE	Veículo ligeiro	Lightning	GT	Nano-Lithium Titanate	35kWh	toda a noite/par de horas/10 minutos	tomada mono/tomada 3-/externo	320 km	4 motores de 120kw	[109]
VE	Scooter	Luyuan	LEV	Lead Acid	48V/20Ah	3-8h	100VAC - 240VAC	35-50 km	500W	[110]
VE	Scooter	Luyuan	PB1	Lítio	36V/10Ah	5-8h		35-40 km		[110]
VE	Veículo ligeiro	Mini	Cooper ev	Lithium-Ion	35kWh (7kWh reserva)	2,5h / 2,9h	estação da mini (2,5h) / 240VAC/48A (2,9h)	240 km	204cv	[111]
VE	Veículo ligeiro	Mitsubishi	MIEV	Lithium-Ion	16kWh			110 km	47kW(64cv)	[111]
VE	Veículo Pesado de Mercadorias	Modec	Electric delivery van (1)	Zebra	85kWh	15min / uma noite	troca de baterias / interno	160 km		[112]

Continuação da Tabela de veículos de propulsão eléctrica

VE	Veículo Pesado de Mercadorias	Modac	Electric delivery van (2)	Lithium-Ion		15min / uma noite	troca de baterias / interno	96 km		[112]
VE	Veículo ligeiro	Nissan	Mixim	Lithium-Ion		carga completa 20-40 minutos		250 km	100kW	[113]
VE	Veículo ligeiro	Nissan	Privo2	Lithium-Ion				125 km		[114]
VE	Veículo ligeiro	Nissan/reault	Denki cube	Lithium-Ion				160 km		[115]
EV	Veículo ligeiro	Nissan-Renault-BetterPlace	Mégane	Lithium-Ion			Unidades better-place	200 km		[115]
VE	Veículo ligeiro	Phoenix	SUT/SUV	Nano-Lithium Titanate	35kWh	5-6h / 95% em menos de 10minutos	6,6kW / 250kW(externo)	160 km		[116]
VE	Veículo ligeiro	Pininfarina	BD	Lithium Polymer				240 km		[116]
VE	Scooter	Powabyke	X-byke	Lithium-Ion	36V			32km	200kW	[117]
VE	Scooter	Powascoter	Trike	Lead Acid (gel)	48V/50Ah	4h		40-48 km	2kw	[118]
PHEV	Veículo ligeiro	Renault	Kangoo	NiCd	132V/25kWh		190 - 240VAC (50/60Hz)/3,3kW (81% eficiencia)			[119]
VE	Veículo ligeiro	Renault	Z.E. concept	Lithium-Ion					94cv	[119]
VE	Veículo ligeiro	REVA	G-Wiz	Lead Acid	200Ah	2,5h 80% / 8h full - 9,66kWh	13-16A/230VAC	77km	6kw	[121]
PHEV	Veículo ligeiro	Saturn	Flextreme	Lithium-Ion						[122]
PHEV	Veículo ligeiro	Seat	Leon Twin Drive-Ecomotive	Lithium-Ion				50 km	47 cv	[123]
VE	Veículo ligeiro	Smart	Novo - ForTwo EV	Lithium-Ion						[124]
VE	Veículo ligeiro	Smart	ForTwo EV	Zebra	13,3kWh	4h-80% / 8h-100%		110 km	41cv	[125]
VE	Veículo ligeiro	Subaru	G4e	Lithium-Ion	346V	16 minutos-80% / 8h standard (110V)		200 km	65kW	[126]
VE	Veículo ligeiro	Subaru	R1e	Lithium-Ion		15 minutos-80% / 8h standard (110V)		80 km		[127]
PHEV	Veículo ligeiro	Subaru	Stella	Lithium-Ion	346V/9,2kWh	17 minutos-80% / 8h standard (110V)			40kW	[128]
VE	Mini-Autocarro	Tecnobus	Gulliver	Lead Acid (opção Zebra)			13,5kW / (3-)400V/32A	4-5 h		[129]
VE	Veículo ligeiro Desportivo	Tesla	Roadster	Lithium-Ion	375V/53kWh	3,5h	Tesla High Power Connector (110 ou 220V)	352 km	248cv	[130]
VE	Veículo ligeiro	Thnk	City (1)	Lithium-Ion	(245-260kg)	13h (80% - 9,5h) / menos de 1h	230V/14A / externo	170 km	30kw	[131]
VE	Veículo ligeiro	Thnk	City (2)	Zebra	28,3kWh (245-260kg)	13h (80% - 9,5h) / menos de 1h	230V/14A / externo	170 km	30kw	[131]
PHEV	Veículo ligeiro	Toyota	Prius PHEV	Lithium-Ion			1,7kW/120VAC/15A			[132]
VE	Veículo ligeiro	Toyota	Rav4	NiMH	(450kg)			202 km		[132]
VE	Motociclo	Vectrix	Electric2	NiMH	125V/3,7kWh (85kg)	2h(80%)	1500W		20kW	[133]
VE	Motociclo	Vectrix	Electric3W	NiMH	125V/3,75kWh (85kg)		1500W	110 km (45km/h)	25cv	[133]
VE	Veículo ligeiro	Venture	Electric	NiMH	48V/200Ah/9,6kWh	5h	16A/220V	50 km	11kW	[134]
PHEV	Veículo ligeiro	Volkswagen	Golf Twin Drive	Lithium-Ion				50 km	82cv	[135]
VE	Scooter	Volta	E-max	Lead Acid	48V/40Ah (51kg)	3-5h		45-60 km	4000W	[136]
PHEV	Veículo ligeiro	Volvo	C30 Recharge	Lithium Polymer		Durante a noite		150 km		[137]
EV	Carrinha mercadorias	Zap	Truck XL	Lead Acid (gel)		12h	90-260V/12A	56 km		[138]
EV	Quadríciclo	Zap	Dude	Lead Acid (gel)	65 Ah ou 110Ah	4-6h		40 km		[139]
EV	Triciclo	Zap	Xebra	Lead Acid	4,75kWh		110VAC	40 km		[140]
EV	Motociclo	Zero	X	Lithium-Ion	58V/35Ah/2kWh				23 cv	[141]

Anexo B - Legenda dos diagramas de blocos



Referências

- [1] Leonor Matias, Diário de Notícias, "Automobilistas portugueses vão ter carro 100% eléctrico em 2011". Disponível em http://www.afia-afia.pt/jornais/jornais2008/2008_07_jornais/2008_07_09_dn.htm. Último acesso em Janeiro de 2009.
- [2] Autohoje Notícias, "Recarregamento de eléctricos". Disponível em <http://www.autohoje.com>. Último acesso em Janeiro de 2009.
- [3] INESCPorto, "Inovgrid leva contadores inteligentes a 50 mil clientes". Disponível em <http://www2.inescporto.pt/use/noticias-eventos/nos-na-imprensa/inovgrid-leva-contadores-inteligentes-a-50-mil-clientes>. Último acesso em Janeiro de 2009.
- [4] ENGINEERSEdge. Disponível em http://www.engineersedge.com/battery/sli_battery.htm. Último acesso em Dezembro de 2008.
- [5] CAR AND DEEP CYCLE BATTERY FAQ. Disponível em <http://www.batteryfaq.org>. Último acesso em Dezembro de 2008.
- [6] Solar Power. Disponível em <http://www.solar-power-answers.co.uk/battery.html>. Último acesso em Dezembro de 2008.
- [7] Wang, X.; Stuart, T., "Charge measurement circuit for electric vehicle batteries," *Aerospace and Electronic Systems, IEEE Transactions on*, vol.38, no.4, pp. 1201-1209, Oct 2002.
- [8] Chan, C.C.; Wong, Y.S., "The state of the art of electric vehicles technology," *Power Electronics and Motion Control Conference, 2004. IPEMC 2004. The 4th International*, vol.1, no., pp.46-57 Vol.1, 14-16 Aug. 2004.
- [9] Chan, C.C.; Chau, K.T., "An overview of power electronics in electric vehicles," *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, vol.44, no.1, pp.3-13, Feb 1997.

- [10] Kopera, J.C., "Introduction to Nickel Metal Hydride Battery Technology," *Cobasys*, June 2004.
- [11] Electric Vehicles of Washington. Disponível em <http://www.electricvehicleswa.com>. Último acesso em Dezembro de 2008.
- [12] Elliott Turner, "Lead-acid VRLA Batteries, How They Tick and How to Battery Test Them". Disponível em <http://www.articlesbase.com/computers-articles/leadacid-vrla-batteries-how-they-tick-and-how-to-battery-test-them-542021.html>. Último acesso em Dezembro de 2008.
- [13] Dhameja, Sandeep, "Electric Vehicle Battery Systems," *NEWNS*, 2002.
- [14] Wertz, J.A.; Clough, T.J., "Development of advanced lead acid batteries for electric vehicles. The use of additives to increase performance and extend life, *Battery Conference on Applications and Advances, 2000. The Fifteenth Annual*, vol., no., pp.77-82, 2000.
- [15] T.R. Crompton, "Battery Reference Book", third edition, *NEWNS*, 2000.
- [16] Larminie, James; Lowry, John, "Electric vehicle technology explained," John Wiley & Sons, Ltd, Estados Unidos, 2003.
- [17] BatteryUniversity. Disponível em <http://www.batteryuniversity.com/partone-4.htm>. Último acesso em Dezembro de 2008.
- [18] David Linden, Thomas B. Reddy, "Handbook Of Batteries 3rd Edition", McGraw-Hill, New York, 2002 ISBN 0-07-135978-8 page 28-18.
- [19] BatteryUniversity. Disponível em <http://www.batteryuniversity.com/partone-11.htm>. Último acesso em Dezembro de 2008.
- [20] Lithium Ion technical handbook, Gold Peak Industries. Disponível em www.gpbatteries.com.hk/html/pdf/Li-ion_handbook.pdf. Último acesso em Dezembro de 2008.
- [21] Automotive Engineering International, "Sustainability on a small scale". Disponível em <http://www.b2i.cc/Document/546/AutomotiveEngineering.pdf>. Último acesso em Dezembro de 2008.
- [22] C. C. Chan, Fellow, IEEE, and K. T. Chau, Member, IEEE, "Fast-Charge in Lithium-Ion Batteries for Portable Applications"
- [23] O'Sullivan, T.M.; Bingham, C.M.; Clark, R.E., "Zebra battery technologies for all electric smart car," *Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, 2006. SPEEDAM 2006. International Symposium on*, vol., no., pp.243-, 23-26 May 2006.

- [24] Cord-H. Dustmann, "Advances in ZEBRA batteries," *Journal of Power Sources*, Volume 127, Issues 1-2, Eighth Ulmer Electrochemische Tage, 10 March 2004, Pages 85-92, ISSN 0378-7753, DOI: 10.1016/j.jpowsour.2003.09.039.
- [25] Abe, Kunihiro (Tokyo, JP), August 2001, "Battery charger for electric vehicle", United States, Fuji Jukogyo Kabushiki Kaisha (Tokyo, JP), 6281660.
- [26] Hayes, J.G., "Battery charging systems for electric vehicles," *Electric Vehicles - A Technology Roadmap for the Future (Digest No. 1998/262)*, IEE Colloquium on , vol., no., pp.4/1-4/8, 5 May 1998.
- [27] Cope, R.C.; Podrazhansky, Y., "The art of battery charging," *Battery Conference on Applications and Advances, 1999. The Fourteenth Annual*, vol., no., pp.233-235, 1999.
- [28] "Inductive is dead". Disponível em <http://www.geocities.com/evcharging/inductiveisdead.html>. Último acesso em Dezembro de 2008.
- [29] Electric Vehicle Charging Information. Disponível em: http://www.ci.pasadena.ca.us/waterandpower/program_ev_evcharging_inductive.asp. Último acesso em Dezembro de 2008.
- [30] Hayes, J.G., "Battery charging systems for electric vehicles," *Electric Vehicles - A Technology Roadmap for the Future (Digest No. 1998/262)*, IEE Colloquium on, vol., no., pp.4/1-4/8, 5 May 1998.
- [31] ELFO - Bus Elettrico. Disponível em <http://www.ecopowertechnology.com/elfo.htm>. Último acesso em Dezembro de 2008.
- [32] IPT Floor - Inductive Power Transfer - Wampfler Group. Disponível em: <http://www.wampfler.com>. Último acesso Dezembro 2008.
- [33] Klontz, K.W.; Esser, A.; Wolfs, P.J.; Divan, D.M., "Converter selection for electric vehicle charger systems with a high-frequency high-power link," *Power Electronics Specialists Conference, 1993. PESC '93 Record., 24th Annual IEEE* , vol., no., pp.855-861, 20-24 Jun 1993.
- [34] Associação Portuguesa do Veículo Eléctrico. Disponível em <http://www.apve.pt>. Último acesso em Dezembro 2008.
- [35] Nor, Jiri K. (Oakville, CA), Soltys, Josef V. (Mississauga, CA), "Universal charging station and method for charging electric vehicle batteries", United States, Norvik Traction Inc. (Mississauga, CA), 5548200, August 1996.

- [36] Nor, Jiri K. (Oakville, CA), "Charging station for electric vehicles", United States, Norvik Technologies Inc. (Mississauga, CA), 5202617, April 1993.
- [37] Hammerslag, Julius G., "Battery charging system", United States, 4334819, June 1982.
- [38] Hammerslag, Julius G., "Battery charging and transfer system", United States 5549443, August 1996.
- [39] BetterPlace - Battery Exchange Stations. Disponível em <http://www.betterplace.com/our-bold-plan/how-it-works/battery-exchange-stations>. Último acesso em Dezembro de 2008.
- [40] Autobloggreen, "URECA - quick battery-exchange system for electric cars owner". Disponível em <http://www.autobloggreen.com/2007/01/22/ureca-quick-battery-exchange-system-for-electric-cars-owner-re/>. Último acesso em Janeiro de 2009.
- [41] Minit Charger. Disponível em <http://www.minit-charger.com/>. Último acesso em Janeiro de 2009.
- [42] Posicharge. Disponível em <http://www.posicharge.com/>. Último acesso em Janeiro de 2009.
- [43] Minit-Charger's Patented Adaptive Charge Control. Disponível em http://www.minit-charger.com/technology/adaptive_charge_control.php. Último acesso em Janeiro de 2009.
- [44] Portland General Electric, "Plug-in Vehicle Charging Stations from PGE". Disponível em http://www.portlandgeneral.com/about_pge/current_issues/pdf/charging_station_fact_sheet.pdf. Último acesso em Janeiro de 2009.
- [45] Coulomb Technologies - Changing the Way We Get Places. Disponível em http://www.coulombtech.com/library/chargepoint_appnote.php. Último acesso em Janeiro de 2009.
- [46] Elektromotive - Electrobay electrical characteristics. Disponível em http://www.elektromotive.com/pdf/Elektrobay_Spec_Sheet.pdf. Último acesso em Janeiro de 2009.
- [47] BetterPlace - Charge Spots. Disponível em <http://www.betterplace.com/our-bold-plan/how-it-works/charge-spots>. Último acesso em Janeiro de 2009.
- [48] EDP - Watt Drive. Disponível em <http://www.edp.pt/EDPI/Internet/PT/Group/Sustainability/Environment/SemanaMobilidade/SemanaMobilidade.htm>. Último acesso em Janeiro de 2009.
- [49] Battery Car Exchange Station. Disponível em http://www.freshcreation.com/entry/electric_car_battery_exchange_station/. Último acesso em Janeiro de 2009.

- [50] Chih-Chiang Hua; Meng-Yu Lin, "A study of charging control of lead-acid battery for electric vehicles," *Industrial Electronics, 2000. ISIE 2000. Proceedings of the 2000 IEEE International Symposium on*, vol.1, no., pp.135-140 vol.1, 2000.
- [51] Hung, S.T.; Hopkins, D.C.; Mosling, C.R., "Extension of battery life via charge equalization control," *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, vol.40, no.1, pp.96-104, Feb 1993.
- [52] Kim, B.G.; Tredeau, F.P.; Salameh, Z.M., "Fast chargeability lithium polymer batteries," *Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, 2008 IEEE*, vol., no., pp.1-5, 20-24 July 2008.
- [53] Tomohiko Ikeya, Nobuyuki Sawada, Sakae Takagi, Jun-ichi Murakami, Kazuyuki Kobayashi, Tetsuya Sakabe, Eiichi Kousaka, Haruki Yoshioka, Satoru Kato, Masanori Yamashita, Hayato Narisoko, Yuichi Mita, Kazuo Nishiyama, Kazuyuki Adachi, Kaoru Ishihara, "Multi-step constant-current charging method for electric vehicle, valve-regulated, lead/acid batteries during night time for load-levelling," *Journal of Power Sources*, Volume 75, Issue 1, 1 September 1998, Pages 101-107, ISSN 0378-7753, DOI: 10.1016/S0378-7753(98)00102-5.
- [54] Do Yang Jung, Baek Haeng Lee, Sun Wook Kim, "Development of battery management system for nickel-metal hydride batteries in electric vehicle applications," *Journal of Power Sources*, Volume 109, Issue 1, 15 June 2002, Pages 1-10, ISSN 0378-7753, DOI: 10.1016/S0378-7753(02)00020-4.
- [55] J. Alzieu, P. Gagnol, H. Smimite, "Development of an on-board charge and discharge management system for electric-vehicle batteries," *Journal of Power Sources*, Volume 53, Issue 2, Proceedings of the Fourth European Lead Battery Conference, February 1995, Pages 327-333, ISSN 0378-7753, DOI: 10.1016/0378-7753(94)01994-7.
- [56] Nor, Jiri K. (Oakville, CA), "Battery energy monitoring circuits", United States, Norvik Traction Inc. (Mississauga, CA), 5773962, June 1998.
- [57] Sabine Piller, Marion Perrin, Andreas Jossen, "Methods for state-of-charge determination and their applications", *Journal of Power Sources*, Volume 96, Issue 1, Proceedings of the 22nd International Power Sources Symposium, Pages 113-120, ISSN 0378-7753, 1 June 2001.
- [58] T. Liu, D. Chen, and C. Fang, "Design and implementation of a battery charger with state-of-charge estimator," *International Journal of Electronics*, 2000, VOL.87, NO.2, pages 211-226, ISSN 1362-3060, 2000.
- [59] Andrew Kallfelz, "Battery Monitoring Considerations for Hybrid Vehicles and Other Battery Systems With Dynamic Duty Loads," *Battery Power Products & Technology*, VOL.10, NO.3, May 2006.

- [60] Shuo Pang; Farrell, J.; Jie Du; Barth, M., "Battery state-of-charge estimation," *American Control Conference, Proceedings of the 2001*, vol.2, no.5, pp.1644-1649 vol.2, 2001.
- [61] Chan, H.L., "A new battery model for use with battery energy storage systems and electric vehicles power systems," *Power Engineering Society Winter Meeting, 2000. IEEE*, vol.1, no., pp.470-475 vol.1, 2000.
- [62] F. Huet, "A review of impedance measurements for determination of the state-of-charge or state-of-health of secondary batteries," *Journal of Power Sources*, Volume 70, Issue 1, 30 January 1998, Pages 59-69, ISSN 0378-7753, DOI: 10.1016/S0378-7753(97)02665-7.
- [63] Shalini Rodrigues, N. Munichandraiah, A. K. Shukla, "A review of state-of-charge indication of batteries by means of a.c. impedance measurements," *Journal of Power Sources*, Volume 87, Issues 1-2, April 2000, Pages 12-20, ISSN 0378-7753, DOI: 10.1016/S0378-7753(99)00351-1.
- [64] Affanni, A.; Bellini, A.; Concari, C.; Franceschini, G.; Lorenzani, E.; Tassoni, C., "EV battery state of charge: neural network based estimation," *Electric Machines and Drives Conference, 2003. IEMDC'03. IEEE International*, vol.2, no., pp. 684-688 vol.2, 1-4 June 2003.
- [65] Dunstan, Robert A. (Beaverton, OR), "Smart battery providing battery life and recharge time prediction", United States, Intel Corporation (Santa Clara, CA), 5565759, October 1996.
- [66] Cox, D.C.; Perez-Kite, R., "Battery state of health monitoring, combining conductance technology with other measurement parameters for real-time battery performance analysis," *Telecommunications Energy Conference, 2000*.
- [67] Sinclair, P.; Duke, R.; Round, S., "An adaptive battery monitoring system for an electric vehicle," *Power Electronic Drives and Energy Systems for Industrial Growth, 1998. Proceedings. 1998 International Conference on*, vol.2, no., pp. 786-791 Vol. 2, 1-3 Dec. 1998.
- [68] Hung, S.T.; Hopkins, D.C.; Mosling, C.R., "Extension of battery life via charge equalization control," *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, vol.40, no.1, pp.96-104, Feb 1993.
- [69] Nor, Jiri K. (Oakville, CA), "Monitoring system for batteries during charge and discharge", United States, Norvik Technologies Inc. (Mississauga, CA), 5206578, April 1993.
- [70] BatteryUniversity - The smart Battery. Disponível em <http://www.batteryuniversity.com/partone-17.htm>. Último acesso em Janeiro de 2009.

- [71] "Vehicle-to-grid power implementation: From stabilizing the grid to supporting large-scale renewable energy", Willett Kempton, Jasna Tomic, Vehicle-to-grid power implementation: From stabilizing the grid to supporting large-scale renewable energy, Journal of Power Sources, Volume 144, Issue 1, 1 June 2005, Pages 280-294, ISSN 0378-7753, DOI: 10.1016/j.jpowsour.2004.12.022.
- [72] Hal Turton, Filipe Moura, Vehicle-to-grid systems for sustainable development: An integrated energy analysis, Technological Forecasting and Social Change, Volume 75, Issue 8, October 2008, Pages 1091-1108, ISSN 0040-1625, DOI: 10.1016/j.techfore.2007.11.013.
- [73] ERSE - Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos. Disponível em <http://www.erse.pt/vpt/glossario/glossario.htm?letra=R>. Último acesso em Janeiro de 2009.
- [74] Brett D. Williams, Kenneth S. Kurani, Commercializing light-duty plug-in/plug-out hydrogen-fuel-cell vehicles: 'Mobile Electricity' technologies and opportunities, Journal of Power Sources, Volume 166, Issue 2, 15 April 2007, Pages 549-566, ISSN 0378-7753, DOI: 10.1016/j.jpowsour.2006.12.097.
- [75] Application number: 11/742,882, Publication number: US 2007/0282495 A1, Filing date: 1 May 2007, Inventors: Willett Kempton, Jasna Tomic', Assignee: UNIVERSITY OF DELAWARE.
- [76] Jasna Tomic, Willett Kempton, Using fleets of electric-drive vehicles for grid support, Journal of Power Sources, Volume 168, Issue 2, 1 June 2007, Pages 459-468, ISSN 0378-7753, DOI: 10.1016/j.jpowsour.2007.03.010.
- [77] Comunidade RFID em Portugal. Disponível em <http://www.portalrfid.net/>. Último acesso em Janeiro de 2009.
- [78] Smart Synch - The Smart Meter System. Disponível em http://www.smartsynch.com/SmartSynch_tms.htm. Último acesso em Janeiro de 2009.
- [79] ZigBee FAQ. Disponível em <http://www.meshnetics.com/zigbee-faq/#9>. Último acesso em Janeiro de 2009.
- [80] Domótica - Circuitos e Aplicações. Disponível em <http://www.electronica-pt.com/index.php/content/view/67/43/>. Último acesso em Janeiro de 2009.
- [81] ITL - Current Transformers UK. Disponível em <http://informatica.hsw.uol.com.br/barramento-pci1.htm>. Último acesso em Janeiro de 2009.

- [82] A *Certiel* - Associação Certificadora de Instalações Eléctricas - “Renováveis na hora - Soluções de ligação da unidade de Microprodução à RESP” - LR 003-09/08.
- [83] “Directiva 2006/95/CE do Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia, de 12 de Dezembro de 2006 relativa à harmonização das legislações dos Estados-Membros no domínio do material eléctrico destinado a ser utilizado dentro de certos limites de tensão”.
- [84] “Directiva 2004/108/CE do Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia, de 15 de Dezembro de 2004 relativa à aproximação das legislações dos Estados-Membros respeitantes à compatibilidade electromagnética e que revoga a Directiva 89/336/CEE”.
- [85] ALKE. Disponível em <http://www.alke.com/doc/Catalog-Alke-ATX-range-ENG.pdf>. Último acesso em Dezembro de 2008.
- [86] Autobloggreen, “An electric car from France using lithium batteries: Le BlueCar”. Disponível em <http://www.autobloggreen.com/2007/06/17/an-electric-car-from-france-using-lithium-batteries-le-bluecar>. Último acesso em Dezembro de 2008.
- [87] Bereco. Disponível em <http://www.bereco.pt/>. Último acesso em Dezembro de 2008.
- [88] Bredamenarinibus. Disponível em <http://www.bredamenarinibus.it>. Último acesso em Dezembro de 2008.
- [89] Burbankca. Disponível em http://www.burbankca.org/burbankbus/news_pdf/hydrogenbus.pdf. Último acesso em Dezembro de 2008.
- [90] Autohoje, “Rival do Chevrolet Volt em 2010”. Disponível em <http://www.autohoje.com>. Último acesso em Dezembro de 2008.
- [91] Byd. Disponível em <http://www.byd.com>. Último acesso em Dezembro de 2008.
- [92] Cadillac Converj Concept, “A Volt For Cadillac”. Disponível em <http://jalopnik.com/5128642/cadillac-converj-concept-a-volt-for-cadillac>. Último acesso em Dezembro de 2008.
- [93] E-Flex Drive system. Disponível em http://www.chevrolet.com/pop/electriccar/2007/process_en.jsp. Último acesso em Dezembro de 2008.

- [94] ChryslerEV: Disponível em: https://www.chryslerllc.com/pdf/envi/ChryslerEV_specs.pdf.
Último acesso em Dezembro de 2008.
- [95] Berlina e desportivo eléctricos. Disponível em
http://www.autohoje.com/index.php?option=com_content&task=view&id=74951&Itemid=5.
Último acesso em Dezembro de 2008.
- [96] Crown. Disponível em
http://www.crown.com/Europe/products/pdfs/specs/WEWS2300_S_spec_GB.pdf. Último
acesso em Dezembro de 2008.
- [97] Daewoo. Disponível em http://www.datanet.yu/automobili/auto_daewoo.htm. Último
acesso em Dezembro de 2008.
- [98] DesignLine. Disponível em
<http://www.iswebsites.com/biz/DesignLine/electrichybrid.cfm?subpage=60933>. Último
acesso em Dezembro de 2008.
- [99] e-bicla. Disponível em http://www.e-bicla.com/epages/226621.sf/pt_PT/?ObjectPath=/Shops/226621/Products/PB806-HIA-720BVT. Último acesso Dezembro de 2008.
- [100] Novaenergia. Disponível em
<http://novaenergia.net/forum/viewtopic.php?f=32&t=7309&start=0&st=0&sk=t&sd=a>.
Último acesso em Dezembro de 2008.
- [101] ekrad-electric-supermoto-bike-from-germany. Disponível em
<http://www.autobloggreen.com/2008/12/08/ekrad-electric-supermoto-bike-from-germany/>. Último acesso em Dezembro de 2008.
- [102] Phylla. Disponível em
http://www.lusomotores.com/index.php?option=com_content&task=view&id=3153&Itemid=37. Último acesso em Dezembro de 2008.
- [103] Fisker Karma. Disponível em
http://www.autohoje.com/index.php?option=com_content&task=view&id=74952&Itemid=54
. Último acesso em Dezembro de 2008.

[104] Roadcar. Disponível em http://www.ginettacars.com/roadcar_range_details.php?id=1. Último acesso em Dezembro de 2008.

[105] MV041hyundai. Disponível em <http://www.elmundo.es/motor/MVnumeros/97/MV041/MV041hyundai.html>. Último acesso em Dezembro de 2008.

[106] ElecTram. Disponível em http://www.isecorp.com/ise_products_services/all_electric_systems/documents/ElecTram.pdf. último acesso Dezembro de 2008.

[107] ChryslerIlc. Disponível em <https://www.chryslerllc.com/>. Último acesso em Dezembro de 2008.

[108] Eliica. Disponível em <http://e85.whipnet.net/flex.cars/eliica.html>. Último acesso em Dezembro de 2008.

[109] Lightningcarcompany. Disponível em <http://www.lightningcarcompany.co.uk/>. Último acesso em Dezembro de 2008.

[110] Luyuan. Disponível em <http://en.luyuan.cn/product/pb108.asp>. Último acesso em Dezembro de 2008.

[111] Engadget. Disponível em <http://www.engadget.com/tag/electric+car/>. Último acesso em Dezembro de 2008.

[112] Modcezev. Disponível em <http://www.modcezev.com/uk/faq>. Último acesso em Dezembro de 2008.

[113] Missa. Disponível em <http://www.autoblog.com/2007/09/11/frankfurt-2007-nissan-mixim-concept-rolls-in/>. Último acesso em Dezembro de 2008.

[114] Tokyo. Disponível em http://subscribers.wardsauto.com/ar/tokyo_nissan_pivo2/. Último acesso em Dezembro de 2008.

- [115] Denki-cube. Disponível em <http://diario.iol.pt/ambiente/denki-cube-electrico-carro-nissan/1016161-4070.html>. Último acesso em Dezembro de 2008.
- [116] Phoenix SUT. Disponível em <http://www.phoenixmotorcars.com/vehicles/sut-specifications.php>. Último acesso em Dezembro de 2008.
- [117] POWABYKE. Disponível em <http://www.phoenixmotorcars.com/vehicles/sut-specifications.php>. Último acesso em Dezembro de 2008.
- [118] Scooters Eléctricas. Disponível em <http://scooterselectricas.a-venda-na.net/tag/bicicletas/>. Último acesso em Dezembro de 2008.
- [119] PHEVAmerica. Disponível em http://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/avta/pdfs/phev/2003_kangoo_phevamerica.pdf. Último acesso em Dezembro de 2008.
- [120] Autobloggreen. Disponível em <http://www.autobloggreen.com/2008/10/02/paris-2008-renault-z-e-concept/>. Último acesso em Dezembro de 2008.
- [121] GoInGreen. Disponível em http://www.goingreen.co.uk/store/content/gwiz_techspec/. Último acesso em Dezembro de 2008.
- [122] Conceptcarz. Disponível em <http://www.conceptcarz.com/vehicle/z14882/2008-Saturn-Flextreame-Concept/default.aspx>. Último acesso em Dezembro de 2008.
- [123] AutoHoje, "Seat apresenta Leon eléctrico". Disponível em http://www.autohoje.com/index.php?option=com_content&task=view&id=74956&Itemid=5. Último acesso em Dezembro de 2008.
- [124] Autobloggreen, "Tesla confirms smart ed battery supply deal". Disponível em <http://www.autobloggreen.com/2009/01/13/tesla-confirms-smart-ed-battery-supply-deal/>. Último acesso em Dezembro de 2008.
- [125] Gizmag, "More one the smart electric plustwo". Disponível em <http://www.gizmag.com/go/5888/>. Último acesso em Dezembro de 2008.

- [126] Zerucustoms. Disponível em <http://www.zerucustoms.com/news/Subaru-G4e.html>. Último acesso em Dezembro de 2008.
- [127] Autobloggreen, "Subarus's all-electric R1e wins Japanese government award". Disponível em <http://www.autobloggreen.com/2007/01/15/subaru-s-all-electric-r1e-wins-award-from-japanese-government/>. Último acesso em Dezembro de 2008.
- [128] FHI, "FHI Showcase its Subaru Plug-in STELLA Concept, a new prototype electric vehicle, at the G8 Hokkaido Toyako Summit". Disponível em: http://www.fhi.co.jp/english/contents/pdf_en_46430.pdf. Último acesso em Dezembro de 2008.
- [129] APVE. Disponível em http://www.apve.pt/upload/conteudo_index/bus/docs/demogulliver_regrasutiliz.pdf. Último acesso em Dezembro de 2008.
- [130] Teslamotors, "The Tesla Roadster battery system". Disponível em http://www.teslamotors.com/display_data/TeslaRoadsterBatterySystem.pdf. Último acesso em Dezembro de 2008.
- [131] THINK. Disponível em <http://www.think.no/think/>. Último acesso em Dezembro de 2008.
- [132] Rav4 ev. Disponível em <http://www.mnn.net/rav4ev.htm>. Último acesso em Dezembro de 2008.
- [133] Vectrix. Disponível em <http://vectrix.masac.pt/produtos.htm?idprod=935>. Último acesso em Dezembro de 2008.
- [134] Venturi. Disponível em <http://www.venturi.fr/electric-vehicules-eclectic-technical-specifications.html>. Último acesso em Dezembro de 2008.
- [135] Volkswagen plug-in twin drive hybrid. Disponível em <http://www.engadget.com/2008/06/27/volkswagen-prepping-a-plug-in-twin-drive-hybrid-for-2010/>. Último acesso em Dezembro de 2008.
- [136] Volta. Disponível em <http://www.volta.pt/>. Último acesso em Dezembro de 2008.

- [137] Volvo039s. Disponível em <http://www.cars4women.co.za/articles/227/1/Volvo039s-hybrid-battery---changing-motoring-as-we-know-it/Page1.html>. Último acesso em Dezembro de 2008.
- [138] Zap-truck. Disponível em <http://www.zapworld.com/electric-vehicles/electric-cars/zap-truck-xl>. Último acesso em Dezembro de 2008.
- [139] Zap-dude. Disponível em <http://www.zapworld.com/electric-vehicles/offroad-ev/zap-dude>. Último acesso em Dezembro de 2008.
- [140] Xebra-sedan. Disponível em <http://www.zapworld.com/electric-vehicles/electric-cars/xebra-sedan>. Último acesso em Dezembro de 2008.
- [141] Zero motorcycle. Disponível em <http://www.autobloggreen.com/tag/zero+motorcycles>. Último acesso em Dezembro de 2008.